

Tuomas Kekki

SÄHKÖASEMAN OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS JA
VALINTA

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2015

SÄHKÖASEMAN OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS JA VALINTA

Kekki, Tuomas
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Kesäkuu 2015
Ohjaaja: Nieminen, Esko
Sivumäärä: 48
Liitteitä: 6

Asiasanat: omakäyttöjärjestelmä, sähköasema, valinta, mitoitus, ABB Doc 2.0

Tämän opinnäytetyön aiheena oli sähköaseman omakäyttöjärjestelmän mitoitus ja valinta. Työn toimeksiantajana oli ABB Power Systemsin Substation -yksikkö. Työn tarkoituksena oli tutkia omakäyttökeskuksen valintaan liittyviä asioita sekä tehdä mitoituslaskelmat yhden sähköaseman omakäyttöjärjestelmälle.

Tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin omakäyttöjärjestelmään yleisesti sekä siihen liittyvään suojaus- ja mitoitusteoriaan. Lisäksi työssä esiteltiin ABB:n kolme vakioimaa omakäyttökeskusratkaisua ja tutkittiin asioita, jotka vaikuttavat sopivan omakäyttökeskuksen valintaan.

Omakäyttöjärjestelmän mitoituslaskelmat toteutettiin ABB Doc 2.0 -ohjelmalla. Kyseisen ohjelman luotettavuutta tarkasteltiin käsin laskien. Laskelmat tehtiin meneillään olevaan projektiin Saarenkylän sähköasemalle. Laskentatulosten pohjalta tehtiin muutoksia muutamiin suojalaitteisiin ja kaapeleihin. Lopputuloksena saatiin selektiivisyyden kannalta paremmin toimiva ratkaisu.

DIMENSIONING AND SELECTION OF SUBSTATION AC AUXILIARY SYSTEM

Kekki, Tuomas

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

June 2015

Supervisor: Nieminen, Esko

Number of pages: 48

Appendices: 6

Keywords: AC auxiliary system, substation, selection, dimensioning, ABB Doc 2.0

The subject of this thesis was dimensioning and selection of substation AC auxiliary system. The work was commissioned by ABB Power Systems' Substations unit. The purpose of the work was to investigate issues about selection of AC auxiliary switchgear and make calculations about AC auxiliary system in one substation.

The theoretical part of this thesis was focused on AC auxiliary system in general and related protection and dimensioning in theory. In addition at the work were presented three standardized AC auxiliary switchgears and investigated issues which affect to dimension of switchgear.

The calculations of AC auxiliary system were made with ABB Doc 2.0 program. Program reliability check was made by hand calculations. Calculations were made to ongoing Saarenkylä's substation project. Changes were made to protective devices and cables by calculation results. The final result obtained better solution by selectivity.

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 6 |
| 2 | ABB-YHTYMÄ..... | 7 |
| 2.1 | Yleistietoa yhtiöstä..... | 7 |
| 2.2 | ABB Suomessa | 7 |
| 2.3 | Substations | 8 |
| 3 | OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄ | 8 |
| 3.1 | Omakäyttöjärjestelmän kuvaus | 8 |
| 3.2 | Syötön saanti | 8 |
| 3.3 | Omakäyttökeskus | 9 |
| 3.3.1 | Keskuksen rakenne | 9 |
| 3.3.2 | Keskuksen kotelointi | 10 |
| 3.3.3 | Keskuksen syöttöyksikkö | 11 |
| 3.3.4 | Kiskosto..... | 11 |
| 3.4 | Jakelu | 12 |
| 3.5 | Varmennettu vaihtosähkö | 12 |
| 4 | SUOJAUSTEORIA..... | 12 |
| 4.1 | Syöttöyhteyden suojaus | 12 |
| 4.2 | Ylivirtasuojaus | 13 |
| 4.2.1 | Ylikuormitussuojaus..... | 13 |
| 4.3 | Oikosulut..... | 14 |
| 4.3.1 | Symmetrinen- ja epäsymmetrinen oikosulkuvirta..... | 15 |
| 4.3.2 | Sysäysoikosulkuvirta | 16 |
| 4.4 | Oikosulkusuojaus ja suojan valinta..... | 16 |
| 4.5 | Selektiivisyys | 17 |
| 4.6 | Pienjännitejakelun johdinjärjestelmät | 18 |
| 4.6.1 | TN-järjestelmät..... | 19 |
| 4.6.2 | IT-järjestelmä | 21 |
| 4.6.3 | TT-järjestelmä | 22 |
| 4.7 | Pienjänniteverkon maadoitus | 23 |
| 5 | MITOITUSTEORIA | 24 |
| 5.1 | Oikosulkuvirtojen laskenta | 24 |
| 5.1.1 | Muuntaja | 24 |
| 5.1.2 | Kaapelit | 24 |
| 5.1.3 | Suurin oikosulkuvirta | 25 |
| 5.1.4 | Pienin oikosulkuvirta..... | 26 |
| 5.1.5 | Dynaaminen oikosulku | 27 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2 | Jännitteenalenema | 28 |
| 6 | OMAKÄYTTÖKESKUSRATKAISUJEN ESITTELY | 29 |
| 6.1 | Pieni keskus | 29 |
| 6.2 | Keskus apurelein..... | 30 |
| 6.3 | Keskus logiikalla..... | 32 |
| 7 | OMAKÄYTTÖKESKUKSEN VALINTA..... | 33 |
| 7.1 | Valintaan vaikuttavat tekijät | 33 |
| 7.2 | Yhteenveto valinnasta..... | 34 |
| 8 | OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS | 35 |
| 8.1 | Mitoitustarpeet | 35 |
| 8.2 | Mitoitus ABB Doc 2.0 -ohjelmalla..... | 35 |
| 8.2.1 | Syötön valinta | 36 |
| 8.2.2 | Suojalaitteen valinta | 37 |
| 8.2.3 | Kaapelin valinta..... | 39 |
| 8.2.4 | Kiskoston valinta | 40 |
| 8.2.5 | Kuorman määrittäminen | 40 |
| 8.2.6 | Toimintatesti | 41 |
| 8.2.7 | Laskentatulosten tarkastelu | 42 |
| 8.3 | Käsinlaskut..... | 44 |
| 8.4 | Yhteenveto laskelmista | 44 |
| 9 | YHTEENVETO | 46 |
| | LÄHTEET..... | 48 |
| | LIITTEET | |

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee sähköasemien omakäyttöjärjestelmiä. Opinnäytetyön teoriaosuus avaa lukijalle omakäyttöjärjestelmää sekä sen suojausta ja mitoitusta. Työn toimeksiantajana toimii ABB Power Systems divisioonan Substations- yksikkö.

ABB pyrkii vakioimaan omia omakäyttökeskusratkaisujaan. Tässä opinnäytetyössä esitellään kolme erilaista omakäyttökeskusmalliratkaisua sekä kerrotaan, minkälaisiin asioihin kannattaa kiinnittää huomioita sopivaa keskusta valittaessa. Aihe on tärkeä, sillä valmiit keskusratkaisut säästävät ABB:lla suunnittelutunteja. Lisäksi valmiiden malliratkaisujen tarjoaminen asiakkaalle auttaa asiakasta löytämään sopivimman omakäyttökeskuksen.

Opinnäytetyössä keskitytään myös omakäyttöjärjestelmän mitoitukseen. Työssä avataan ABB:n Doc 2.0 -laskentaohjelman käyttöä. Työ sisältää kirjoittajan omaa pohdintaa laskentaohjelmasta sekä sen antamista tuloksista.

2 ABB-YHTYMÄ

2.1 Yleistietoa yhtiöstä

ABB sai alkunsa, kun ruotsalainen ASEA sekä sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät vuonna 1988. Nykyään ABB on johtava sähkövoima- ja automaatiotekniikan suuryhtymä, jolla on toimintaa yli 100 maassa, jokaisella mantereella. ABB:n pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissa. Tällä hetkellä ABB:n palveluksessa on noin 140 000 henkilöä. ABB:n liiketoiminta on jaettu viiteen eri divisioonaan eri teollisuuden alojen sekä asiakassegmenttien mukaan. (ABB:n www-sivut 2015.)

ABB:n menestys on kautta historian perustunut vahvaan panostukseen tutkimus- ja kehitystyössä. Tänäkin päivänä yhtiöllä on seitsemän tutkimuskeskusta eri puolilla maailmaa. Tutkimus- ja kehitystyön tuloksena ABB toimii markkinoiden johtavana teollisuuden moottoreiden sekä taajuusmuuttajien, tuuliturbiinigeneraattoreiden ja sähköverkkojen toimittajana. Lisäksi ABB:n ylpeydenaiheiksi voidaan lukea sähköistysratkaisut laivoihin sekä korkeajännitteisen tasavirran siirto pitkillä välimatkoilla. (ABB:n www-sivut 2015.)

2.2 ABB Suomessa

Suomessa ABB juontaa juurensa Oy Strömberg Ab:sta. Strömbergin historia ulottuu vuoteen 1889, jolloin Gottfrid Strömberg perusti sähköliikkeen Helsinkiin. Vuonna 1987 kyseinen yritys siirtyi ruotsalaisen ASEA:n omistukseen, joka myöhemmin seuraavana vuonna yhdistyi sveitsiläisen Brown Boverin kanssa ABB:ksi. (ABB:n www-sivut 2015.)

Nykyään ABB toimii 21 eri paikkakunnalla Suomessa. Suurimmat tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingin Pitäjänmäellä, Helsingin Vuosaarella, Vaasassa ja Porvoossa. Henkilöstöä ABB:lla on noin 5200, joten se kuuluu merkittävimpiin teollisuuden työnantajiin Suomessa. Pääkaupunkiseudulla ABB on suurin teollisuuden työnantaja. Vuonna 2014 ABB:n liikevaihto oli 2,1 miljardia euroa ja tutkimukseen ja tuotekehitykseen käytetyt varat olivat 204 miljoonaa euroa. (ABB:n www-sivut 2015)

2.3 Substations

Substations on osa Power Systems -divisioonaa. Suomen Substations- yksikkö toimittaa erilaisia sähköasematkaisuja avaimet käteen -periaatteella. Suomen yksikössä työskentelee noin 90 henkilöä. Maailmanlaajuisesti Substations työllistää yli 400 projektipäällikköä noin 70 eri maassa. ABB toimittaa sähköasemia aina 1100kV:iin asti. Kohteiden sijainnit vaihtelevat eri puolilla maailmaa, esimerkiksi aavikolla, merellä sijaitsevilla lautoilla ja suurkaupunkien keskustoissa. (ABB:n www-sivut 2015.)

3 OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄ

3.1 Omakäyttöjärjestelmän kuvaus

Omakäyttöjärjestelmä on välttämätön osa sähköasemaa. Siihen kuuluu käytännössä kaikki asemalla tarvittava 230/400V:n vaihtosähkö. Sähköaseman toiminta vaatii apusähköä sekä vaihtosähköä, että tasasähköä. Huomion arvoista on omakäyttöjärjestelmän ja tasasähköjärjestelmän liittyminen toisiinsa, sillä tasasähköjärjestelmä on riippuvainen omakäyttöjärjestelmän toimivuudesta. Omakäyttöjärjestelmän vikaantumisella voi olla suuret seuraukset, sillä se saattaa johtaa aseman sähkönjakelun lamaantumiseen tai pahimmassa tapauksessa tuhota koko aseman. Niinpä apusähköjärjestelmien käyttövarmuudelle on asetettu erittäin suuret vaatimukset. (Siivonen 2007, 8; Monni 1995, 44.)

3.2 Syötön saanti

Omakäyttöjärjestelmän ensimmäisenä komponenttina voidaan pitää komponenttia, josta omakäyttökeskus ottaa pääsyöttönsä. Omakäyttökeskuksen pääsyötto voidaan ottaa muutamasta eri vaihtoehdosta. Yleisimpinä sähköasemien omakäytön pääsyötteinä toimivat sähköaseman erillinen omakäyttömuuntaja tai päämuuntajan omakäyttökäämi. Omakäyttömuuntaja on yleisesti kuivamuuntaja, koska sillä on öljyeristeistä muuntajaa pienempi palokuorma sekä on huoltovapaampi. Omakäyttömuuntajan te-

ho vaihtelee aseman koon ja omakäyttötehon mukaan. Muuntosuhteeltaan XXX/0,4kV:n kiskojännitemuuntajia voidaan myös käyttää omakäyttöjärjestelmän pääsyöttönä. Pääsyötön valintaan vaikuttavat asiakkaan vaatimukset, komponenttien hinta sekä vanhojen asemien uudistuskohdeissa valmiina olevat komponentit. (Siivonen 2007, 10.)

Omakäyttöjärjestelmän käyttövarmuudelle on asetettu korkeat vaatimukset. Niinpä omakäyttökeskus tarvitsee pääsyötön ohella varasyötön. Omakäyttökeskus toimii varasyötöllä pääsyötön katketessa, esimerkiksi pääsyöttölähteen vikaantuessa tai huollon aikana. Omakäytön 0,4kV:n varasyöttö otetaan aseman ulkopuolelta esimerkiksi paikallisen sähköyhtiön jakeluverkosta 20/0,4 kV:n puistomuuntamolta.

Ulkopuolelta tulevan varasyötön lisänä voidaan käyttää vielä generaattoriliityntää. Generaattoriliityntä toteutetaan rakentamalla erillinen syötönvalintakotelo joko pääsyötön ja omakäyttökeskuksen tai varasyötön ja omakäyttökeskuksen väliin. Syötönvalintakotelolla on valintakytkin (I – 0 – II = pääsyöttö/varasyöttö – 0 – generaattori), jolla voidaan valita haluttu syöttö.

3.3 Omakäyttökeskus

Omakäyttökeskus toimii sähköaseman vaihtosähkönjakelun pääkeskuksena. Jos omakäyttökeskuksesta joudutaan siirtämään energiaa pitkiä välimatkoja, on tavallista, että lähempänä suuria kulutuskohteita käytetään nousukeskusta, kuten rakennussähkökeskus. Kiinteistön energian mittaus sijaitsee omakäyttökeskuksessa, jossa on erilliset mittauslaitteistot pää- ja varasyötön puolilla.

3.3.1 Keskuksen rakenne

Omakäyttökeskukset ovat tavallisesti vapaasti lattialle seisomaan asennettavia keskuksia. Suurivirtaisten keskusten materiaali on yleisesti kuumasinkittyä terästä, jotta keskus kestää vikavirtojen aiheuttamat paineet. Suunniteltaessa on järkevää sijoittaa

yhden lähdön kaikki komponentit samaan moduuliin, jotta kunnossapito on mahdollisimman helppoa ja selkeää. (Mäkihannu 2011, 35.)

Omakäyttökeskukset voivat olla joko kenno-, kotelo tai kaappikeskuksia. Yleisin keskustyyppi on kennokeskus. Lähtökennojen merkinnät on eroteltu kilvillä ja ne on kaapeloitu turvallisesti kaapelikenttien kautta. Yleisesti lähdöt toteutetaan yksikkölähtöperiaatteella eli jokainen lähtö sijaitsee oman ovensa takana. Poikkeuksena ovat johdonsuojakatkaisijälähdöt, jotka on pyritty sijoittamaan mahdollisimman moni saman oven taakse. Kiinteän kalustustavan etuja ovat riviliitinten ja kojeiden helposti luoksepääsy. Syötön navat on kosketussuojattu, ja rakenne täyttää kosketussuojausvaatimukset. Keskuksen ovet ovat kennokohtaisia. (ABB Oy 2000, 386.)

Keskuksen arvokilvestä tulee selvittää seuraavat tiedot (Mäkihannu 2011, 35):

- ”*valmistajan nimi tai rekisteröity tavaramerkki*
- *mallimerkintä tai tunnistusnumero*
- *valmistajan vakuutusta osoittava CE-merkki*
- *nimellisvirta- ja jännite, virtalaji, taajuus, oikosulkukestoisuus, kotelointiluokka, keskusstandardin numero ja sertifiointitunnus*”

Mikäli keskuksen nimellisvirta on yli 800A tai takajännitevaara on olemassa, tulee keskus varustaa työmaadoituslaitteella-, eli työmaadoituskytkimellä. Työmaadoituskytkimen voi lukita riippulukolla maadoitusasentoon. (ABB Oy 2000, 382.)

Omakäyttökeskuksen syöttö- ja lähtöyksiköt voidaan asentaa kiinteästi, ulosotettaviksi tai ulosvedettäväksi (ABB Oy 2000, 382).

3.3.2 Keskuksen kotelointi

Keskuksen kotelointi luokitellaan aina tiettyyn suojausluokkaan, joka antaa kosketusjännitesuojauksen. Omakäyttökeskukselle annetaan tilaan sopiva kotelointiluokka pöly- ja vesitiiviys huomioon ottaen. Henkilösuojauksen kannalta tärkeintä on, että

keskus kestää vikatilanteessa sen sisällä syntyvät valokaaret ja paineiskut. (Mäkihannu 2011, 35.)

3.3.3 Keskuksen syöttöyksikkö

Keskuksen syöttö tapahtuu syöttöyksikössä omassa kennossaan. Syöttöyksikkö suo-
jaa kojeistoa sekä vikatilanteessa kytkee ja erottaa sen irti muuntajista. Syöttöliityntä
voidaan tehdä joko ylhäältä tai alhaalta. Keskuksen pääpiirin erottamiseen ja luotet-
tavan avausvälin muodostamiseen käytetään ulosvedettävää tehokatkaisijaa tai
kuormankytkintä. Tehokatkaisija on varustettu elektronisella releellä, jolla voi toteut-
taa ylivirtalaukaisun, oikosulkulaukaisun ja katkaisijan kauko-ohjauksen. (ABB Oy
2000, 382.)

Syöttöyksikköön liittyvät apulaitteet tulee sijoittaa pääkojetilasta erotettuun apulaite-
kenttään tai apulaitetilaan. Apulaitteisiin kuuluu kiinteä valokaarisuoja, ylivirtarele,
maasulun valvontarele, ohjausjännitemuuntaja, energianmittaus sekä virran ja jännit-
teen mittaus. (ABB Oy 2000, 382.)

3.3.4 Kiskosto

Omakäyttökeskuksen pääpiirien sähkönjakelu toteutetaan tavallisesti virtakiskoilla.
Kiskosto voi sijaita keskuksen ylä- tai alaosassa niin, että se on helppo lämpökuvata
sekä jälkikiristää. Suurivirtaiset kiskostot ovat erilliskoteloitu. Kiskoston materiaali-
na käytetään kuparia tai alumiinia. (Mäkihannu 2011, 36; ABB Oy 2000, 381.)

Kiskoston kuormitettavuutta suunniteltaessa on järkevää ottaa huomioon tulevaisuu-
den tarpeet. Kiskoston vaatimuksena on kestää keskuksen suurin mahdollinen kolmi-
vaiheisen oikosulun aiheuttama termisen oikosulkuvirran maksimi-arvo. Termistä oi-
kosulkulujuutta laskettaessa on tiedettävä johtimen alkulämpötila sekä oikosulun
kesto-aika. (Mäkihannu 2011, 37.)

3.4 Jakelu

Omakäyttökeskus syöttää sähköaseman omakäyttökuormaa. Suurilla sähköasemilla saattaa olla monta omakäyttökeskusta. Tällöin yksi omakäyttökeskus toimii ikään kuin pääkeskuksena alemmille omakäyttökeskuksille. Suurilla asemilla on myös tavallista, että omakäyttökeskus syöttää erillisiä alakeskuksia. Tällaisia alakeskuksia voivat olla esimerkiksi valvomon rakennussähkökeskus tai varaston valaistuskeskus. Omakäyttökeskuksen kuormia ovat normaalisti aseman lämmitys, valaistus, kamera-valvonta, palohälytyskeskus, pistorasiat sekä pistorasiakeskukset, tasasähköjärjestelmän varaajat ja muuntajien tuulettimet. (Siivonen 2007, 11.)

3.5 Varmennettu vaihtosähkö

Invertterillä varmennettu vaihtosähkö on pieni mutta tärkeä osa sähköaseman toisiopuolta. Sen syötön saanti on toteutettu sekä omakäyttökeskuksesta että akuilla varmennetusta tasasähkökeskuksesta. Invertterillä varmennetussa vaihtosähkössä kuormat ovat pieniä. Jakelu koostuu lähinnä sähköaseman työasemista ja kameravalvonnasta.

4 SUOJAUSTEORIA

4.1 Syöttöyhteyden suojaus

Pääsyötön ja varasyötön suojaukseen pätevät periaatteessa samat ehdot ja olosuhteet. Eroavaisuutena pää- ja varasyötöllä voidaan pitää varasyötön pienempää vikavirran syöttökykyä. Tästä johtuen suojalaitteiden toiminta-asetteluja määritettäessä on huomioitava, että ne toimivat myös varasyötön perässä. (ST-käsikirja 20 2005, 151.)

Suunniteltaessa ja toteutettaessa verkkoa on otettava huomioon, että sen terminen ja mekaaninen lujuus kestää kuormitusvirtaa, oikosulku- ja maasulkuvirtoja sekä vir-

ranvaihteluja. Verkon laitteiden ja johtojen on kestävä edellä mainitut rasitukset aiheuttamatta vaaraa ympäristölleen. (ST-käsikirja 20 2005, 151.)

4.2 Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus koostuu ylikuormitussuojauksesta ja oikosulkusuojauksesta. Samaa suojalaitetta voidaan käyttää ylikuormitussuojaukseen sekä oikosulkusuojaukseen. Tyypillisiä suojalaitteita ovat esimerkiksi suojarele, johdonsuojakatkaisija tai gG-tyypin tulppasulake. (Mäkihannu 2011, 12.)

Vikatilanteessa verkosta on pystyttävä erottamaan mahdollisimman pieni osa. Toisin sanoen vika pyritään rajoittamaan pienelle alueelle, jolloin muu osa verkosta toimii normaalisti. Suojauksen mitoituksessa tulee huomioida, ettei se ole liian herkkä, vaan se sallii normaalit käytössä esiintyvät pienet ylivirrat. (Virsu 2005, 10.)

4.2.1 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitusvirralla tarkoitetaan muuta, kuin virtapiirissä vian aikana esiintyvää virtaa. Ylikuormitussuojan tehtävänä on katkaista ylikuormitusvirta ennen, kuin nouseva lämpötila aiheuttaa vahinkoa eristykselle, jatkoksille, liitoksille tai johtimen ympäristölle. (Tiainen 2000, 27.)

Mitoitettaessa ylikuormitussuojaa tulee ottaa huomioon suojalaitteen nimellisvirta sekä suojalaitteen erilliset toiminta-arvot. Standardin SFS6000:n mukaan johtimen ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on täytettävä seuraavat ehdot (SFS 6000 2012, 130):

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (2)$$

missä I_B on virtapiirin mitoitusvirta
 I_n on suojalaitteen nimellisvirta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

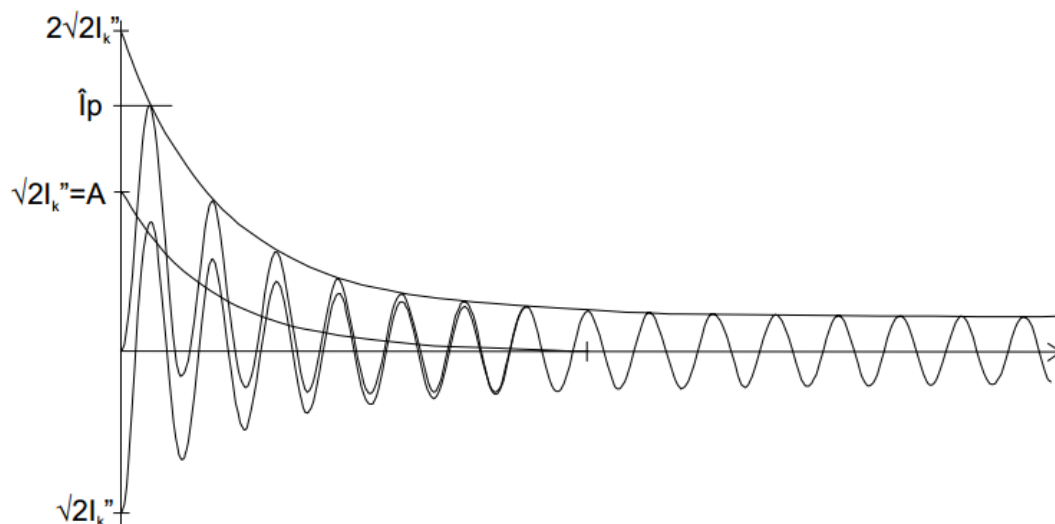
I_2 on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. Virran I_2 arvo on annettu laitestandardeissa tai se saadaan valmistajalta.

Ylikuormitussuoja voidaan jättää tietyin edellytyksin pois. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi tilanteet, joissa johdon ylikuormitus arvioidaan epätodennäköiseksi, johon ei ole haaroitettu eikä siinä ole pistorasioita. Oikosulkusuojausta ei voida kuitenkaan jättää pois. (Tiainen 2000, 37.)

Ylikuormitussuojat suositellaan poisjätettäväksi sellaisia sähkölaitteita syöttävistä virtapiireistä, joissa virtapiirin odottamaton avautuminen saattaa aiheuttaa vaaraa. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi virtamuuntajien toisiopiirit sekä palonsammutuslaitteistoja syöttävät virtapiirit. (Tiainen 2000, 37.)

4.3 Oikosulut

Oikosulku tarkoittaa erittäin pieni-impedanssista vikaa normaalitilanteessa eri potentiaalisten jännitteisten osien välillä. Oikosulkuvirta voi olla yksi-, kaksi- tai kolmevaiheista. Oikosulkutilanteessa suojalaitteiden on toimittava huomattavasti ylikuormitustilannetta nopeammin, sillä oikosulkuvirta on paljon ylikuormitusvirtaa suurempi. Ylikuormitus- ja oikosulkusuojana voidaan käyttää samaa suojalaitetta, mutta ne voivat olla myös erilliset. (Tiainen 2000, 65)



Kuva 1. Oikosulkuvirran käyrämuoto (ABB Oy 2000, 197)

Oikosulkuvirran käyrämuoto on esitetty kuvassa 1. Kuvasta nähdään vaimeneva tasavirtakomponentti (A). Sen suuruus on riippuvainen oikosulun syntyhetkestä sekä vaimenemisnopeus piirin R/X - suhteesta. Oikosulku omaa myös vaihtovirtakomponentin, jossa voi myös olla vaimeneva osa. Kuvan I_k'' tarkoittaa alkuoikosulkuvirtaa, ja se on symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo vian alkuhetkellä. Alkuoikosulkuvirta vastaa generaattoreiden reaktansseja vian syntyhetkellä. Vikatilanteen aikana reaktanssit kasvavat, joten virta vaimenee jatkuvuustilan arvoon I_k . Syysäysoikosulkuvirta I_p tarkoittaa kuvasta nähtävää käyrämuodon hetkellistä huippuarvoa. (ABB Oy 2000, 197.)

Oikosulkuvirtoja laskettaessa laskijalla pitää olla käsitys oikosulkuvirtojen suuruuksista eri tilanteissa tai eri kohdissa verkkoa. Näin huomataan laskennassa mahdollisesti tapahtuneet virheet. (Koskinen 2013, 23.)

4.3.1 Symmetrinen- ja epäsymmetrinen oikosulkuvirta

Symmetrinen oikosulkuvirta tarkoittaa jännitteen huippuarvon kohdalla syntyvää oikosulkua. Tällöin ei pääse esiintymään tasavirtakomponenttia. (Koskinen 2013, 24.)

Epäsymmetrinen oikosulkuvirta tarkoittaa oikosulkua, joka tapahtuu jossakin muussa kohdassa kuin jännitteen huippuarvolla. Tässä tapauksessa esiintyy myös tasavirta-komponentti, jonka suuruus on riippuvainen oikosulun alkuhetkestä. (Koskinen 2013, 24.)

4.3.2 Sysäysoikosulkuvirta

Sysäysoikosulkuvirta (I_p) tarkoittaa oikosulkuvirran suurinta hetkellistä arvoa. Sysäysoikosulkuvirran arvoa käytetään komponenttien mitoitukseen, sillä se kertoo suurimman voimavaikutuksen kolmivaiheisen oikosulun tapahtuessa. Sysäysoikosulkuvirran arvoa käytetään myös kojeiden ja laitteiden sähködynaamiseen mitoitukseen, sillä se määrää suurimman esiintyvän rasituksen. (Koskinen 2013, 24.)

4.4 Oikosulkusuojaus ja suojan valinta

SFS 6000 -standardin kohdan 434.5.1 mukaan missä tahansa virtapiiriä esiintyvät oikosulut on katkaistava ajassa, joka ei ylitä johtimen saavuttamaa suurinta sallittua rajalämpötilaa. Jokainen virtapiiri on siis varustettava oikosulkusuojalla, joka katkaisee piirin oikosulkuvirran, ennen kuin termiset tai mekaaniset vaikutukset aiheuttavat vaaraa ympäristölle tai verkon komponenteille, poikkeuksena kuitenkin esimerkiksi tietyt mittauspiirit (SFS 6000 434.2.3). Komponentit tulee valita niin, että ne kestävät oikosulun aikaiset termiset ja dynaamiset rasitukset. Oikosulkusuojauksen toimivuus on tarkastettava suunnitteluvaiheessa. Oikosulkusuojan pitää olla aina syöttävän kaapelin alkupäässä. Sulakkeen nimellisvirta voi olla johdon kuormitettavuutta suurempi, kun se toimii ainoastaan oikosulkusuojana. (SFS 6000 2012, 133; Tiainen 2010, 65.)

Virtapiirin oikosulkuvirta määritellään joko laskemalla tai mittaamalla. Useimmiten määrittäminen toteutetaan laskemalla, koska silloin saadaan maksimi- ja minimitalteiden virrat. Maksimivirtaa tarvitaan kojeiden ja johtojen määrittelyyn ja minimivirtaa suoja-alueiden tarkisteluun. (ST-käsikirja 20 2005, 159.)

Pienin oikosulkuvirta syntyy, kun johdon kaukaisimmassa päässä verrattuna suoja-laitteeseen tapahtuu oikosulku. Pienin oikosulkuvirta selvitetään, jotta varmistutaan oikosulkusuojan riittävän nopeasta toiminnasta. (Tiainen 2010, 75.)

Suurin oikosulkuvirta syntyy heti suojalaitteen jälkeen tapahtuvassa oikosulussa. Suurin oikosulkuvirta selvitetään, jotta suojalaite pystyy katkaisemaan oikosulkuvirran. Suurimman oikosulkuvirran selvittäminen on erityisen tärkeää silloin, kun käytetään johdonsuojakatkaisijoita, jotka omaavat sulaketta pienemmän katkaisukyvyyn. (Tiainen 2010, 75.)

Yleensä oikosulkusuojaus on osa ylivirtasuojaukseen, joten siihen kuuluu myös yli-kuormitusuojaus. Oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa katkaisijalla, johdonsuojakatkaisijalla tai sulakkeilla. (ST-käsikirja 20 2005, 159.)

Oikosulkusuojan on täytettävä standardin SFS 6000 kohdan 434.5.1 vaatimukset (SFS 6000 2012, 133).

4.5 Selektiivisyys

Suojauksen selektiivisyys tarkoittaa vain viallisen verkon osan irrottamista jakelusta vikatilanteesta. Toisin sanoen vain vikapaikkaa lähinnä oleva sulake tai suojalaite palaa/laukeaa sen varsinaisella suojausalueella sattuvassa ylikuormitus- tai oikosulutilanteesta. Ylemmän portaan suojalaitteet eivät laukea, vaikka ovatkin havahtuneina. (ST-käsikirja 20 2005, 181.)

Selektiivisyys saavutetaan (ST-käsikirja 20 2005, 181):

- ”ylivirtasuojien virta-asettelulla
- peräkkäisten portaiden aika-asettelulla (tai näiden yhdistelmällä)
- vikaporrastuksella jakelumuuntajien tai kuristimien suojauksessa tai
- sulakekokojen porrastuksella.”

Sulakkeilla ja johdonsuojakatkaisijoilla toteutetussa suojauksessa selektiivisyys perustuu virran suuruuteen ja suojan laukaisukäyrän toiminta- ja sulamisaikoihin. Kat-

kaisijoita käytettäessä voidaan selektiivisyyttä parantaa käyttämällä hyväksi laitteiden lukitusmahdollisuuksia sekä asettelemalla virta- ja aika-asetteluja. (ST-käsikirja 20 2005, 181.)

Selektiivisyyttä voidaan tarkistella suojalaitteiden ominaiskäyriä vertailemalla. Kun jälkimmäisen suojalaitteen ominaiskäyrä on edellisen alapuolella, eivätkä ominaiskäyrät leikkaa millään odottavissa olevan ylivirran arvolla toisiaan, saavutetaan selektiivisyys. Ominaiskäyrien vertailussa käytetään jälkimmäisen suojalaitteen ylintä ja edellisen suojalaitteen alinta ominaiskäyriä. (Tiainen 2010, 103.)

Täydellisen selektiivisyyden saavuttaminen ei ole aina tarpeellista, sillä sen toteutus voi johtaa kohtuuttomaan ylimitoitukseen ja erittäin kalliisiin ratkaisuihin (Tiainen 2010, 103).

4.6 Pienjännitejakelun johdinjärjestelmät

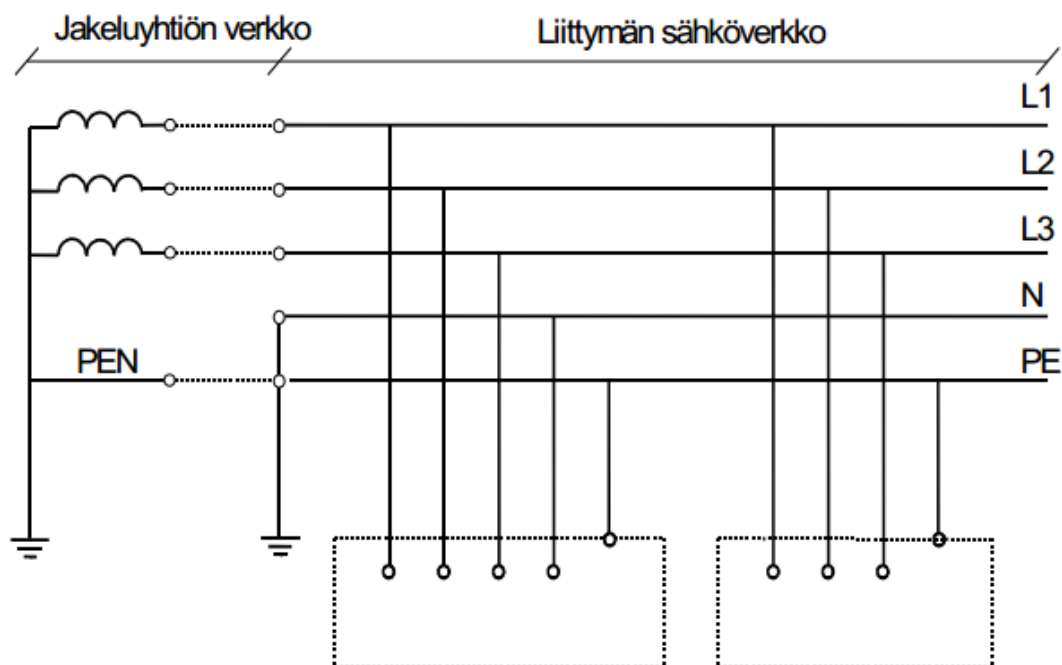
Yleisin Suomessa käytettävä johdinjärjestelmä on TN-järjestelmä. Siinä yksi piste on suoraan maadoitettu ja sähkölaitteistossa olevat jännitteiset osat on suoja- tai PEN-johtimella yhdistetty suoraan kyseiseen pisteeseen. Suomessa käytetään myös IT-järjestelmää. TT-järjestelmä ei ole käytössä julkisissa sähkönjakelujärjestelmissä Suomessa. (ABB Oy 2000, 100.)

Voimalaitosten omakäyttöjärjestelmät on lähes poikkeuksetta maadoitettava. Maadoitustapoina voidaan käyttää joko suoraan maadoitettua, pienimpedanssista tai suurimpedanssista järjestelmää. Järjestelmän suojaus toteutetaan kolmenapaisilla katkaisijoilla, jos käyttömaadoitus on tehty kojeistossa. Tässä tapauksessa muuntajalta tulee kolme vaihetta ja PEN-johdin. Jos käyttömaadoituspaikka maadoitetaan muuntajan tähtipisteeseen, tulee muuntajalta kolme vaihetta sekä nolla- ja suojajohdin. Nelinapaista katkaisijaa voidaan käyttää kun järjestelmässä on paljon epätasaista kuormaa ja nollajohtimessa kulkee pieni määrä virtaa. Nelinapaisuus ei takaa täydellistä erotusta, sillä oikosulkuvirta ei kulje nollajohtimessa. Oikosulkuvirran on mahdollista kulkea sähköaseman maadoitusverkon kautta tähtipisteestä maadoitettuun muuntajaan. (Virsu 2015, 12 -13.)

4.6.1 TN-järjestelmät

TN-järjestelmät jaetaan nolla- ja suojajohtimien keskinäisten järjestelyjen mukaan kolmeen eri järjestelmään: TN-S-, TN-C- ja TN-C-S-järjestelmään. TN-järjestelmissä standardin SFS 6000 411.4.2 mukaan tehonsyöttöjärjestelmän nollapiste tai keskipiste on maadoitettava. Jos nolla- tai keskipistettä ei ole, on maadoitettava äärijohdin. (SFS 6000 2012, 94.)

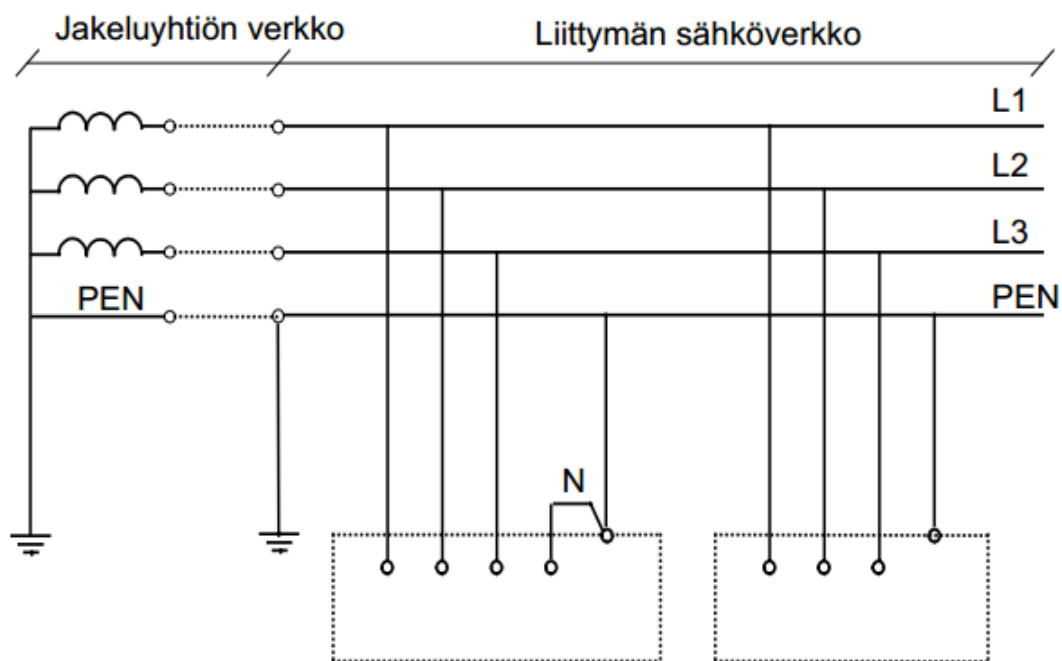
TN-S-järjestelmässä (kuva 2) on koko järjestelmässä erillinen nolla- ja suojajohdin. TN-S-järjestelmässä sähköverkon aiheuttamat häiriöt ovat merkittävästi muita järjestelmiä pienempiä. Tämän vuoksi TN-S-järjestelmän käyttö on suositeltavaa esimerkiksi paljon elektroniikkaa sisältävissä tiloissa. (ABB Oy 2000, 100.)



Kuva 2. TN-S-järjestelmä (ABB Oy 2000, 101)

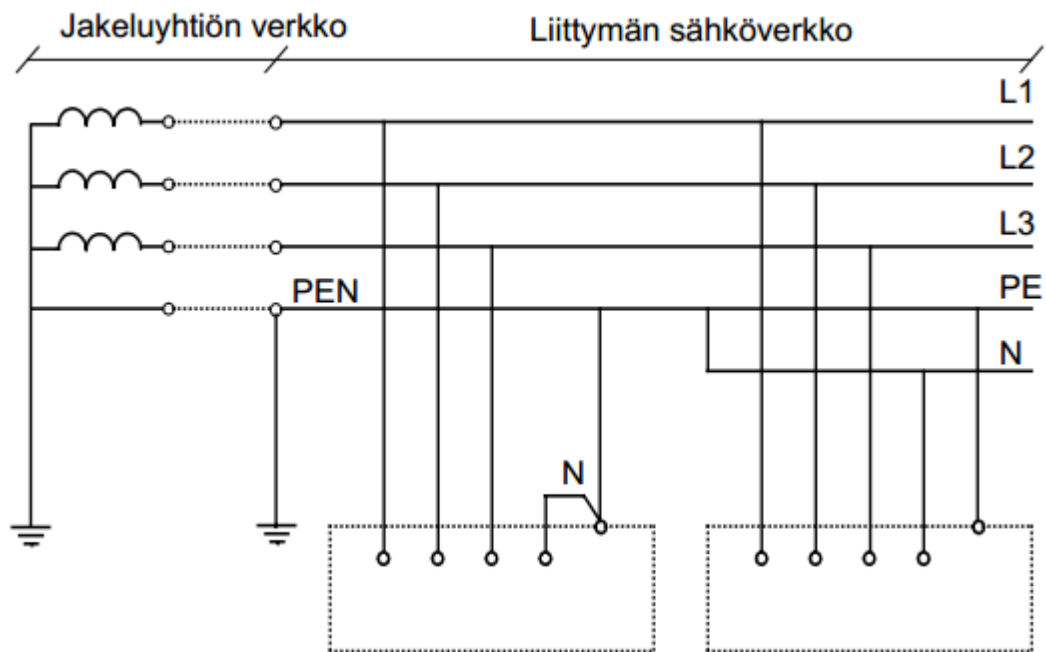
TN-C-järjestelmässä (kuva 3) käytetään PEN-johdinta, joka toimii niin nolla- kuin suojajohtimena. Koko järjestelmän kaikki nolla- ja suojaustoiminnot on yhdistetty

PEN-johtimeen. Standardin SFS 6000 411.4.5 mukaan TN-C-järjestelmässä ei saa käyttää vikavirtasuojia. (ABB Oy 2000, 100; SFS 6000 2012, 95.)



Kuva 3. TN-C-järjestelmä (ABB Oy 2000, 101)

TN-C-S-järjestelmä (kuva 4) on yhdistelmä edellisistä järjestelmistä, sillä nolla- ja suojajohdintoiminnot on yhdistetty osassa järjestelmää. SFS 6000 411.4.5 standardin mukaan käytettäessä vikavirtasuojaa TN-C-S-järjestelmässä, PEN-johdinta ei saa käyttää kuorman puolella. Lisäksi suojamaadoitusjohdin tulee kytkeä PEN-johtimeen vikavirtasuojan syötön puolella. (SFS 6000 2012, 95.)

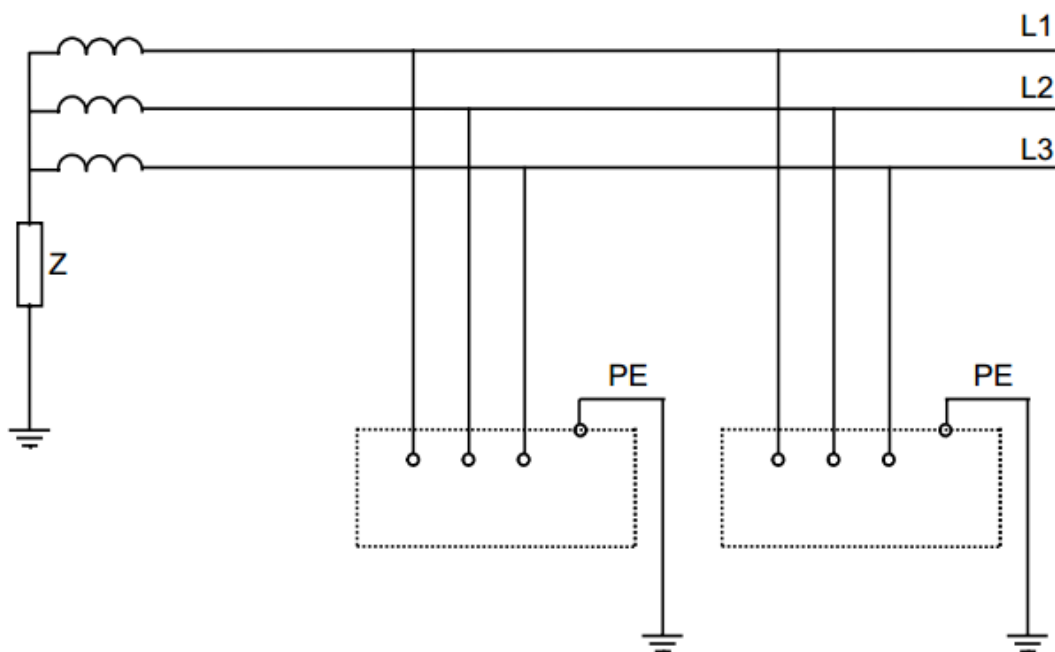


Kuva 4. TN-C-S-järjestelmä (ABB Oy 2000, 102)

4.6.2 IT-järjestelmä

IT-järjestelmässä (kuva 5) mitään jännitteistä osaa ei ole kytketty suoraan maahan. Järjestelmän yksi piste, tavallisimmin nollapiste, voidaan yhdistää impedanssin kautta maahan suojaus- ja mittaustarkoituksia varten. Järjestelmä voi olla varustettu myös nollajohtimella. (ABB Oy 2000, 104.)

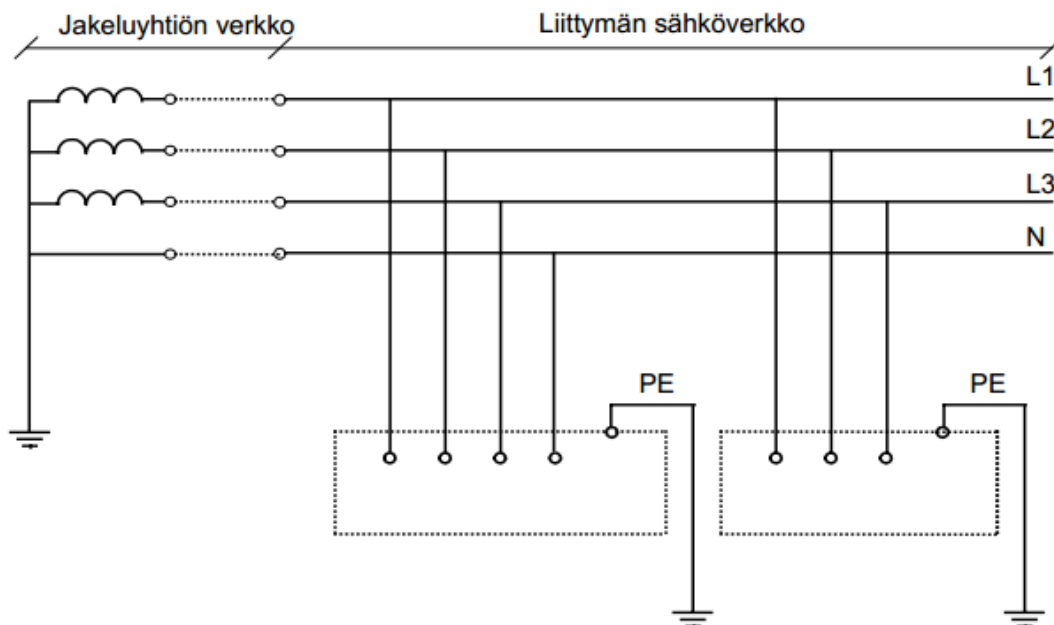
IT-järjestelmässä huomion arvoista on, että yksivaiheinen maasulku ei aiheuta välitöntä käyttökeskeytystä. Heikkoutena onkin yksivaiheisten vikojen hankala paikannus. (ABB Oy 2000, 104.)



Kuva 5. IT-järjestelmä (ABB Oy 2000, 103)

4.6.3 TT-järjestelmä

TT-järjestelmässä (kuva 6) yksi piste, tavallisimmin muuntajan tähtipiste, on maadoitettu suoraan ja järjestelmän jännitteiset osat on kytketty jakelujärjestelmän maadoituselektrodeista sähköisesti riippumattomiin erillisiin maadoituselektrodeihin. Järjestelmän suojaukseen ei voida käyttää sulaketta, vaan suojaukseen tulee käyttää vikavirtasuojakytkintä tai muuta pienen vikavirran tunnistavaa suojalaitetta. (ABB Oy 2000, 102.)



Kuva 6. TT-järjestelmä. (ABB Oy 2000, 103)

4.7 Pienjänniteverkon maadoitus

Maadoitusten pääasiallinen tehtävä on estää vaarallisten kosketusjännitteiden synty järjestelmien ja laitteiden vikatapauksissa, estää häiriöt elektroniikka- ja telejärjestelmissä, estää ilmastollisista ylijännitteistä aiheutuvat vauriot ja vaarat sekä järjestää sähköverkon vikavirralle kontrolloitu luotettava reitti suojalaitteiden nopeaa selektiivistä toimintaa varten. (ABB Oy 2000, 98.)

Kaikki sähköä johtavat materiaalit tulee kytkeä samaan potentiaaliin. Potentiaalin-tasaus on keskeinen osa sähkölaitteiston suojausta, sillä sitä vaaditaan kaikissa rakennuksissa. Potentiaalin-tasauksen ollessa maadoitettu, se on osa maadoitusjärjestelmää. Maadoitettu potentiaalin-tasauskisko on liitetty mahdollisimman pienen maadoitusresistanssin omaavaan maadoituselektrodiin, jotta vikavirran arvo saadaan minimoitua. (Mäkihannu 2011, 19.)

5 MITOITUSTEORIA

5.1 Oikosulkuvirtojen laskenta

5.1.1 Muuntaja

Oikosulkuimpedanssin laskentaan saadaan nimellisarvot joko muuntajan arvokilvestä tai valmistajalta. Muuntajan valmistaja antaa muuntajan oikosulkuimpedanssiprosentin z_K , joka jakaantuu resistiiviseen z_R ja reaktiiviseen z_X osaan. Muuntajan oikosulkuresistanssi, -impedanssi sekä -reaktanssi saadaan kilpiarvojen avulla sekä laske-
malla käyttäen kaavoja 3-6 (Mäkihanu 2011, 49):

$$z_R = \frac{100 * P_K}{S_N} \% \quad (3)$$

$$R_M = \frac{z_R}{100\%} * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (4)$$

$$Z_M = \frac{z_K}{100\%} * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (5)$$

$$X_M = \sqrt{Z_M^2 - R_M^2} \quad (6)$$

missä z_K on oikosulkuimpedanssiprosentti
 z_R on resistiivinen oikosulkujänniteprosentti
 R_M on muuntajan oikosulkuresistanssi
 X_M on muuntajan oikosulkureaktanssi
 Z_M on muuntajan oikosulkuimpedanssi
 P_K on muuntajan kuormitushäviöt
 S_N on muuntajan nimellisnäennäisteho
 U_N on muuntajan nimellisjännite.

5.1.2 Kaapelit

Oikosulkuvirta vaimenee merkittävästi pitkällä liittymiskaapeleilla. Jos kaapeli on ohuempi, resistanssin osuus on reaktanssia suurempi. Näin ollen kaapelin pinta-alan kasvaessa kaapelin R/X-suhde pienenee. Kaapelin valmistaja antaa kaapelille mak-

simivaiheresistanssin pituusyksikköä kohden vaihtojännitteellä lämpötilassa +70 °C sekä johdon induktanssin. Johtimen reaktanssi pituusyksikköä kohden pystytään laskemaan johtimen induktanssista kaavalla 7 (Mäkihannu 2011, 50):

$$X_L = 2\pi fL \angle 90^\circ \quad (7)$$

missä X on reaktanssi
f on vaihtojännitteen taajuus
L on johtimen induktanssi.

Johtimen impedanssi saadaan komponenttimuodossa seuraavasta kaavasta (Mäkihannu 2011, 50):

$$Z_j = (R + jX) \quad (8)$$

missä Z on johtimen impedanssi
R on johtimen resistanssi
X on johtimen reaktanssi.

5.1.3 Suurin oikosulkuvirta

Oikosulkuimpedanssi muodostuu kolmevaiheisessa oikosulussa myötäimpedansseista, joten suurimman oikosulkuvirran laskemiseksi pitää selvittää verkon komponenttien myötäimpedanssit. (ABB Oy 2000, 198.)

Kolmevaiheinen oikosulkuvirta saadaan kaavoilla 9 ja 10 (Ensto 2008):

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_1} \quad (9)$$

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_M + R_V)^2 + (X_M + X_V)^2}} \quad (10)$$

missä c on jännitekerroin
U_N on pääjännite

Z_1 on myötäkomponenttiverkon impedanssi

R_M on muuntajan oikosulkuresistanssi

R_V on vaihejohtimen resistanssi

X_M on muuntajan oikosulkureaktanssi

X_V on vaihejohtimen reaktanssi.

5.1.4 Pienin oikosulkuvirta

Pienin oikosulkuvirta määritetään, jotta varmistutaan kosketusjännitesuojauksen toimivuudesta. Pienintä oikosulkuvirtaa määriteltäessä jännitekertoimeksi valitaan arvo c_{MIN} . Tavallisimmin pienin oikosulkuvirta tapahtuu yksi- tai kaksivaiheisessa oikosulussa. Kaksivaiheista oikosulkuvirran arvoa tarvitaan ainoastaan sellaisen suojausverkon laskennassa, joka on maasta erotettu. Sähköasemilla tällaisia verkkoja ei ole, joten tässä työssä sitä ei myöskään käsitellä. (Mäkihannu 2011,)

Yksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan kaavasta (ABB Oy 2000, 199):

$$I_{K1}'' = \frac{\sqrt{3} * c * U_N}{|2 * Z_1 + Z_0|} \quad (11)$$

missä Z_1 on myötäkomponenttiverkon impedanssi

Z_0 on nollakomponenttiverkon impedanssi.

Jos muuntajan ja kaapelin resistanssit sekä reaktanssit tiedetään, voidaan yksivaiheinen oikosulkuvirta laskea kaavasta (Ensto 2008):

$$I_{K1}'' = \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_M + R_V + R_{PEN})^2 + (X_M + X_V + X_{PEN})^2}} \quad (12)$$

c on jännitekerroin

U_N on pääjännite

R_M on muuntajan oikosulkuresistanssi

R_V on vaihejohtimen resistanssi

R_{PEN} on pen-johtimen resistanssi

X_M on muuntajan oikosulkureaktanssi

X_V on vaihejohtimen reaktanssi

X_{PEN} on pen-johtimen reaktanssi.

5.1.5 Dynaaminen oikosulku

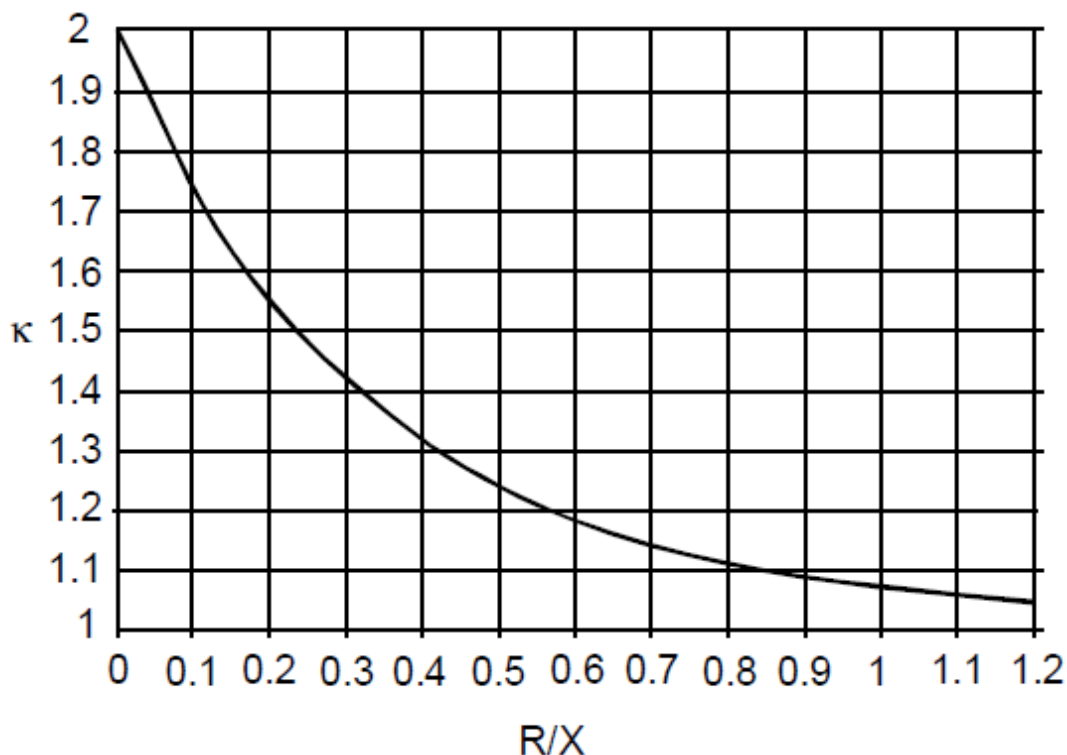
Sysäysoikosulkuvirrasta aiheutuu dynaamisia voimavaikutuksia, jotka määräävät laitteiden ja komponenttien mekaanisen mitoituksen. Dynaamisia voimavaikutuksia voidaan pienentää oikeanlaisella mitoituksella. Oikosulusta aiheutuva dynaaminen voimavaikutus on suurimmillaan ensimmäisen puolijakson huippukohdassa, jossa sysäysoikosulkuvirran i_S -arvo on huipussaan. Sysäysoikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla (Mäkihannu 2011, 54):

$$i_S = k\sqrt{2} * I_K'' \quad (13)$$

missä k on sysäyskerroin

I_K'' on alkuoikosulkuvirran tehollisarvo.

Sysäyskerroin k riippuu oikosulkupiirin resistanssin R ja reaktanssin X suhteesta ja se voidaan määrittää kuvasta 7.



Kuva 7. Sysäyskertoimen riippuvuus R/X-suhteesta (ABB Oy 2000, 204)

5.2 Jännitteenalenema

SFS 6000 -standardin suosituksen mukaan jännitteenalenema sähkölaitteiston liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä ei saisi olla suurempi kuin 4 % sähkölaitteiston nimellisjännitteestä. Jännitteenalenema voidaan laskea yksivaiheisella vaihtojännitteellä kaavasta 14 (Tiainen 2010, 111):

$$\Delta U = I * 2 * s * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi), \quad (14)$$

Jännitteenalenema kolmivaiheisella vaihtojännitteellä voidaan laskea kaavasta 15 (Tiainen 2010, 111):

$$\Delta U = I * s * \sqrt{3} * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi), \quad (15)$$

Kaavojen plus-merkkiä käytetään laskettaessa induktiivisella kuormalla ja miinus-merkkiä laskettaessa kapasitiivisella kuormalla.

Suhteellinen jännitteenalenema saadaan kaavasta 16 (Tiainen 2010, 111):

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_N} * 100\% \quad (16)$$

kaavoissa ΔU on jännitteenalenema
 Δu on suhteellinen jännitteenalenema
 I on virta
 s on johdon pituus
 r on ominaisresistanssi
 x on ominaisreaktanssi
 U_N on nimellisjännite
 φ on jännitteen ja virran välinen vaihekulma.

6 OMAKÄYTTÖKESKUSRATKAISUJEN ESITTELY

Tässä kappaleessa esitellään ABB:n yleisimmin käytettävät omakäyttökeskukset.

6.1 Pieni keskus

ABB:n pieni keskus on esiteltävistä keskusvaihtoehdoista yksinkertaisin sekä nimensä mukaisesti pienin. Keskuksen fyysiset ulkomitat ovat 2200 mm (korkeus), 750 mm (leveys) ja 260 mm (syvyys).

Tyypiltään keskus on ABB:n MCS-keskus. Keskuksen nimellisjännite on 400 VAC, nimellisvirta 125 A ja nimellistaajuus 50 Hz. Keskuksen IP-kotelointiluokka on IP21, joka vastaa suojausta keskikokoisia kappaleita vastaan (halkaisija yli 12,5 mm, kuten sormi) ja suojausta suoraan ylhäältä tulevaa vettä vastaan (IEC 60529, 2001).

Keskuksessa on oma kaapelitila, ja kaapelit on mahdollista tuoda sekä ylä- että alakautta kaapelitilaan. Kaapelitilassa sijaitsee riviliitinkisko, jonne kaapelit tuodaan ja josta ne jatketaan johtimilla johdonsuojakatkaisijoille sekä vikavirtasuojille.

Keskuksen pääkytkin on ABB:n valmistama OT125F4C-tyyppinen käsin ohjattava vaihtokytkin. Pääkytkimellä on kolme asentoa: pääsyöttö, 0 ja varasyöttö. Keskuk-sella ei ole automatisoitua syötönvaihtoa.

Keskuksen lähdöt on toteutettu johdonsuojakatkaisijoilla sekä vikavirtasuojilla: vika-virtasuojalliset lähdöt ja vikavirtasuojattomat lähdöt löytyvät eri ovien takaa. Kes-kuksen kahden 40 A/30 mA vikavirtasuojan takana on yhteensä neljä kolmevaiheista ja kuusi yksivaiheista lähtöä. Vikavirtasuojattomia kolmevaiheisia johdonsuojakat-kaisijalähtöjä on neljä, sisältäen yhden lähdön rakennussähkökeskukselle ja yksivai-heisia lähtöjä 24.

Keskuksen kannesta löytyy analoginen jännitteen mittausta ja sen valintakytkin. Ener-gianmittausta voidaan seurata ovesta olevan lasin läpi. Alemmasta ovesta on mah-dollista tehdä valvomon lämmityksen kotona-pois-ohjaus. Näin ollen valvomon lämpötilaa voidaan säätää paikallaollessa lämpimämmäksi. Lisäksi samasta ovesta löytyvät painonapit ulkokentän valaistuksen ja laitetilän valaistuksen ohjaukselle. Omakäyttökeskuksen vikavirtasuojien kotelon ovesta löytyy kolmevaiheiset 32 A:n ja 16 A:n pistorasiat yksi kumpaakin kokoa ja oven takaa kaksi yksivaiheista 16 A:n pistorasiaa.

Keskuksen pääkaavio ja layout löytyvät liitteestä 4 (rajattu salaiseen osaan).

6.2 Keskus apurelein

ABB:n keskus apurelein on kahdesta moduulista (11K ja 12K) koostuva kennokes-kuskokonaisuus. Keskus on mitoitettu suurelle sähköasemalle. Fyysisiltä mitoiltaan keskus on 2180 mm, 4050 mm ja 400 mm.

Keskus on tyypiltään ABB:n MCS-keskus. Keskuksen nimellisjännite on 400 VAC, nimellisvirta 400 A ja nimellistaajuus 50 Hz. Kotelointiluokaltaan keskus on IP31 ja se vastaa suojausta pieniä kappaleita vastaan (halkaisija yli 2,5 mm) ja suojausta suoraan ylhäältä tulevaa vettä vastaan (IEC 60529, 2001).

Varsinaisia kaapelitiloja keskuksesta löytyy kaksi, omat sekä 11K:ssa että 12K:ssa. Kaapelointi on mahdollista suorittaa vain yläpuolelta, sillä päävirtakiskot sijaitsevat keskuksen alaosassa. Syöttökaapelit kytketään suoraan omaan syöttöyksikköönsä. Lähtökennojen kaapelit tuodaan kaapelitilasta kosketussuojaavan ritilän läpi suoraan omaan lähtökennoonsa, jossa ne kytketään riviliitinten kautta kytkinvarokkeelle. Johdonsuojakatkaisijälähdöissä kaapelit tuodaan lähtökennon riviliittimille, josta ne jatketaan johtimilla johdonsuojakatkaisijoille.

Pääsyötön ja varasyötön pääkytkiminä toimii kaksi nimellisvirraltaan 400 ampeerista ABB:n MCCB -tyypin kompaktikatkaisijaa. Keskuksen päävirtakiskot on mahdollista erottaa kuormankytkimellä. Päävirtakiskot voidaan työmaadoittaa lukittavalla työmaadoituskytkimellä sekä 11K:n että 12K:n puolelta.

Keskuksen syötönvaihtoautomaatiikka on toteutettu apurelein. Syötönvaihto alkaa käytännössä alijännitereleen havahtuessa, jolloin apureleketju tekee automaattisen syötönvaihdon. Keskuksessa on myös kaksi ABB:n REF620-tyyppistä suojarelettä, joiden kautta onnistuu mittaukset kaukokäyttöön ja omakäyttökeskuksen pääkatkaisijoiden laukaisu.

Keskuksen lähdöt on toteutettu pääasiassa sulakkeellisilla kytkinvarokkeilla. Keskuksesta löytyy myös johdonsuojakatkaisijälähtöjä. Sulakelähtöjä keskukselta löytyy yhteensä 26 ja johdonsuojakatkaisijälähtöjä 20, pois lukien lähdöt ulkokentän valaistukselle ja keskuksen pistorasioille. Keskuksen pistorasiat on vikavirtasuojattu.

Keskuksen ovista voidaan lukea energianmittaukset, suojareleet sekä analoginen jännitteenmittaus varasyötöltä ja analogiset virran mittaukset päävirtakiskolta. Lisäksi ulkokentän valaistusta voidaan ohjata keskuksen ovesta painonapein. Keskuksella on monipuolinen pistorasiatarjonta 16 ampeerista 63 ampeeriin. Keskuksen pääkaavio ja layout löytyvät liitteestä 5 (rajattu salaiseen osaan).

6.3 Keskus logiikalla

ABB:n keskus logiikalla on mitoitettu suuren sähköaseman omakäyttökeskukseksi. Fyysisiltä mitoiltaan keskus on 1680 mm * 2100 mm * 400 mm.

Keskus on tyypiltään ABB:n MCS-keskus. Keskuksen nimellisjännite on 400 VAC, nimellisvirta 400 A ja nimellistaajuus 50 Hz. Keskuksen kotelointiluokka on IP31 eli sama kuin apurelein toteutetulla mallikeskuksella.

Keskuksen kaapelointi voidaan toteuttaa vain alapuolelta, sillä kiskosto sijaitsee keskuksen yläosassa. Kiskosto voidaan jakaa kahtia nelinapaisella ABB:n TmaxT-tyypin kompaktikatkaisijalla. Kaapelit tuodaan riviliittimille, joista ne jatketaan johdimilla omille laitteilleen.

Keskuksen pääkytkimiä on käytännössä kaksi, omat pääsyötölle ja varasyötölle. Kytkimet ovat ABB:n valmistamia nelinapaisia 320 ampeerin kompaktikatkaisijoita. Lisäksi keskuksen yläosassa sijaitsevat päävirtakiskot voidaan erottaa samantyyppisellä, kooltaan 250 ampeerin kompaktikatkaisijalla.

Keskuksen syötönvaihtoautomaatiikka on toteutettu ABB:n AC500-eCo ohjelmoitavalla logiikalla. Logiikassa on 8 sisääntuloa (input) ja 6 ulostuloa (output), joille saadaan esimerkiksi tieto alijännitteistä. Logiikkaan asetellaan raja-arvot ja asentotiedot, jonka mukaan katkaisijoita ohjataan. Mikäli tietoja halutaan lisää, logiikkaan voidaan asentaa saman sarjan lisämoduuli. Logiikka toimii 24 voltin tasajännitteellä.

Keskuksen lähdöt on toteutettu kompaktikatkaisijoilla ja johdonsuojakatkaisijoilla. Kompaktikatkaisijalähtöjä löytyy kolme, yksivaiheisia johdonsuojakatkaisijalähtöjä yhdeksän ja kolmevaiheisia johdonsuojakatkaisijalähtöjä 18 kappaletta.

Keskuksen kannesta löytyy analogiset mittaukset virralle ja jännitteelle. Lisäksi kannesta löytyy kuivamuuntajien lämpötilan valvontarele. Keskuksella ei ole omia pistorasialähtöjä.

Keskuksen pääkaavio ja layout löytyvät liitteestä 6 (rajattu salaiseen osaan).

7 OMAKÄYTTÖKESKUKSEN VALINTA

7.1 Valintaan vaikuttavat tekijät

Yleisesti eniten omakäyttökeseuksen valintaan vaikuttavat asiakkaan määritelmät eli spesifikaatio. Keskusta valittaessa spesifikaation mukaan tärkein tarkasteltava asia on lähtöjen toteutus, eli onko lähdöt toteutettu sulakkeilla vai johdonsuojakatkaisijoilla ja kompaktikatkaisijoilla. Suunnittelun kannalta sulakkeilla on helpompi toteuttaa selektiivisyys, mutta jos spesifikaatiota ei ole, kannattaa myös miettiä, minne keskusta ollaan myymässä. Esimerkiksi Afrikassa ei välttämättä ole moniin satoihin kilometreihin saatavilla varasulakkeita, joten johdonsuojakatkaisijat ja kompaktikatkaisijat ovat asiakkaalle järkevämpi vaihtoehto.

Toinen tärkeä seikka keskuksen valinnassa on syötönvaihtoautomaatiikka. Jos asiakas ei koe tarvitsevansa automattista syötönvaihtoa, pieni keskus on helppo valinta. Logiikka on helppo ja yksinkertainen syötönvaihtoratkaisu, sillä se vaatii vain vähän komponentteja. Toisaalta apurelein toteutettu syötönvaihtoautomaatiikka on huollettavuudeltaan helpompi, sillä asiakkaan huoltohenkilön ei tarvitse tuntea logiikkaa. Logiikan ja apureleiden suurin ero on käyttöiässä. Logiikka on tällä hetkellä erinomainen ratkaisu, mutta erilaisia logiikkoja tulee kokoajan lisää markkinoille, ja näin ollen tämän hetken logiikkoihin ei välttämättä saada enää kauaa päivityksiä. Logiikan tullessa tiensä päähän ja kehityksen mennessä eteenpäin voi olla hankalaa löytää samanlaista logiikkaa tilalle, ja näin voidaan joutua tekemään muutoksia itse keskuksen. Sen sijaan apureleiden ei odoteta muuttuvan, joten vikaantuneen apureleen korvaaminen uudella tulee olemaan jatkossakin helppoa.

Kolmas tärkeä asia keskusta valittaessa on kaapelointi. Päävirtakiskoston sijainti vaikuttaa kaapelointiin, sillä jos kiskosto sijaitsee esimerkiksi alhaalla, keskus voidaan kaapeloida vain yläkautta. Jos asiakas kaapeloinnista huolimatta kokee keskuksen muiden ominaisuuksien kohtaavan halutun keskuksen kanssa, joudutaan keskusta modifioimaan. Yksi modifiointikeino voisi olla esimerkiksi keskuksen syvyyden

kasvattaminen 40 millimetristä 60 millimetriin, jolloin kiskosto pystytään ohittamaan. Tällöin useasti ahtaat kaapelitilat saavat myös lisätilaa.

Myös keskuksen fyysisillä mitoilla on merkitystä keskuksen valintaan. Suurten keskusten tapauksissa valvomorakennukseen mahtuminen voi olla ongelmallista, jolloin keskusta voidaan joutua muokkaamaan tilaan sopivaksi.

Kotelointiluokiltaan mallikeskuksilla ei ollut suuria eroavaisuuksia. Kotelointiluokaa on myös kohtuullisen helppo parantaa keskuskohtaisesti.

Yhteinen piirre kaikille mallikeskuksille on runsas lähtöjen määrä, joka mahdollistaa asemalle tehtävät laajennukset tulevaisuudessa. Myös mittauksen lukeminen sekä useimmin tehtävien toimintojen ohjaus ovesta on kaikille keskuksille yhteistä. Se on myös helppo ja turvallinen ratkaisu ajatellen asiakasta.

7.2 Yhteenveto valinnasta

Keskusten vakioiminen on hyvä asia, sillä se luo hyvän lähtökohdan tarjota asiakkaille valmiita keskusratkaisuja ja antaa uusia ideoita, mitä keskukselta halutaan. Mikäli yhteensopivaa mallikeskusta ei löydy, luovat valmiit ratkaisut hyvän pohjan yhdistää erilaisia ratkaisuja, ja näin säästyy myös suunnittelutunteja.

Pienen aseman mallikeskuksen osalta saatetaan päästä useassa tapauksessa vain pienen muokkauksin tai jopa ilman muokkauksia. Valittaessa suuren aseman keskusta joudutaan useassa tapauksessa kompromissiratkaisuun. Keskus valitaan edellä mainittujen pääasioiden mukaan, jonka jälkeen keskusta lähdetään muokkaamaan kohteeseen sopivaksi. Lopputuloksessa saatetaan päästä tilanteeseen, jossa jokaisesta kolmesta mallikeskuksesta on otettu jotakin lopulliseen keskukseen.

8 OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS

8.1 Mitoitustarpeet

Omakäyttökeskusten malliratkaisuista päädyttiin mitoittamaan pieni keskus. Kyseinen keskus valittiin asennettavaksi Saarenkylän sähköasemalle, joten mitoituslaskelmien teko oli sekä projektin että opinnäytetyön kannalta ajankohtaista. Laskelmat kattavat koko omakäyttöjärjestelmän eli omakäyttömuuntajalta omakäyttökeskukselle ja sen lähdöt sekä rakennussähkökeskuksen. Mallikeskuksen suojalaitteet sekä kaapelit oli valmiiksi valittu, joten mitoituslaskelmien tarkoituksena oli lähinnä tarkastella järjestelmän toimivuutta.

Mitoitustyökaluksi valittiin ABB Doc 2.0 -ohjelma. Ohjelman luotettavuuden varmistamiseksi päädyttiin tekemään myös pieneltä osin käsinlaskuja. Doc-ohjelmalla tehdyt laskelmat löytyvät liitteestä 1 ja käsin laskien tehdyt laskelmat liitteestä 3.

Aluksi selvitettiin mitoitustarpeita eli mitä mitoituksia omakäyttöpuolella tulee suunnittelussa ylipäättään laskea. Selkeää ohjetta ei ole olemassa, joten otettiin selvää minkälaisia dokumentteja tarkastajat vaativat. Varmennustarkastaja Pertti Granqvistin mukaan varmennustarkastajat vaativat laskelmat oikosulkuvirroista. Laskelmien paikkansapitävyyttä tarkastellaan mittaamalla oikosulkuvirran arvo järjestelmän kauiummaisesta pisteestä. Tarkastelun alla ovat myös suojalaitteiden selektiivisyys, maadoitusmittauspöytäkirjat, eristysvastusmittaukset sekä vikavirtasuojien toiminta. (Pertti Granqvist 2015.)

8.2 Mitoitus ABB Doc 2.0 -ohjelmalla

Omakäyttöjärjestelmän mitoitus ABB Doc 2.0 -ohjelmalla tapahtuu tekemällä eräänlainen piirikaavio omakäyttöjärjestelmästä ohjelmaan, liite 1. Piirikaavioon valitaan syöttö, kaapelit, kiskostot, suojalaitteet ja kuormat vastaavanlaisiksi kuin alkuperäisessä suunnitelmassa. Ohjelmalla on monipuoliset kirjastot kyseisistä komponenteista.

Komponentteja valittaessa on huomioitava niiden lukitus. Lukitus pitää määrittää, jotta ohjelma testaa juuri valitun komponentin sopivuutta ajaessaan toimintatestiä läpi. Jos lukitusta ei ole tehty, ohjelma vaihtaa valitun komponentin tilalle parhaiten sopivan oman ehdotuksensa. Jos itse valittu komponentti ei ole toimintatestin perusteella sopiva, lukitus voidaan poistaa ja katsoa mitä komponenttia ohjelma tarjoaa. Useassa tapauksessa ohjelman oma valinta ei ole kuitenkaan järkevin, joten komponentin vaihdossa kannattaa käyttää omaa harkintakykyä.

Ohjelmaa on mahdollista käyttää monella eri kielellä. Ohjelman suomennokset tosin ovat paikoin kömpelöitä, joten englanninkielisen version käyttö on järkevä valinta.

8.2.1 Syötön valinta

Ensimmäiseksi komponentiksi valitaan syöttö eli tässä tapauksessa omakäyttömuuntaja. Se saadaan luotua ”Tools” -valikon ”Plant general properties” -kohdasta, jolloin näytölle ilmestyy kuvan 8 kaltainen ikkuna. Muuntajalle määritetään sen nimellisarvot sekä valitaan oikea napaisuus. Valitsemalla ”OK” päästään sijoittamaan omakäyttömuuntaja piirikaavioon.

Kuva 8. Syötön yleiset asetukset

8.2.2 Suojalaitteen valinta

Ohjelmalla on monipuolinen kirjasto erilaisista suojalaitteista. Esimerkiksi johdon-suojakatkaisijaa valittaessa klikataan ”Objects” ja valitaan ”Circuit-breaker with Overload and Short Circuit protection”, jolloin suojalaite päästään sijoittamaan halutulle kohdalle piirikaaviota. Tuplaklikkaamalla aukeaa ikkuna (kuva 9), jossa päästään määrittämään sopivan tyyppinen suojalaite. ”User”-kenttään voidaan merkitä johdonsuojakatkaisijan laitetunnus, joka esimerkkitapauksessa on -9F1-3. Johdon-suojakatkaisijan tyyppi voidaan valita vielä uudelleen ”Type”-valikosta. Seuraavaksi valitaan oikeanlainen napaisuus ”Poles”. Tämän jälkeen klikkaamalla ”Select” päästään kuvan 10 mukaiseen laitekirjastoon. Haluttu suojalaite löydetään valitsemalla laiteluettelon mukaiset tiedot. Oikean suojalaitteen löydettyä päästään takaisin edelli-

seen ikkunaan valitsemalla ”OK”. Tämän jälkeen valittu suojalaite lukitaan klikkaamalla lukon kuvaa. Lopuksi klikataan ”OK”.

Circuit-breaker (-QF1.1)

Circuit-breaker

User: -9F1-3

I_b : [] [A] I_{LLN} : [] [V] I_z : [] [A] $TN-S$: [] [Hz]

I_k Max: [] [kA] I_k Min: [] [kA] Details >>

Type: Overload and Short Circuit protection

Version: <All possibilities> Poles: 3P

Family: <All possibilities> Release: <All possibilities>


S203-C16

Symbol: <default>

+Q1

Standard: IEC 60947-2

Board properties >>>

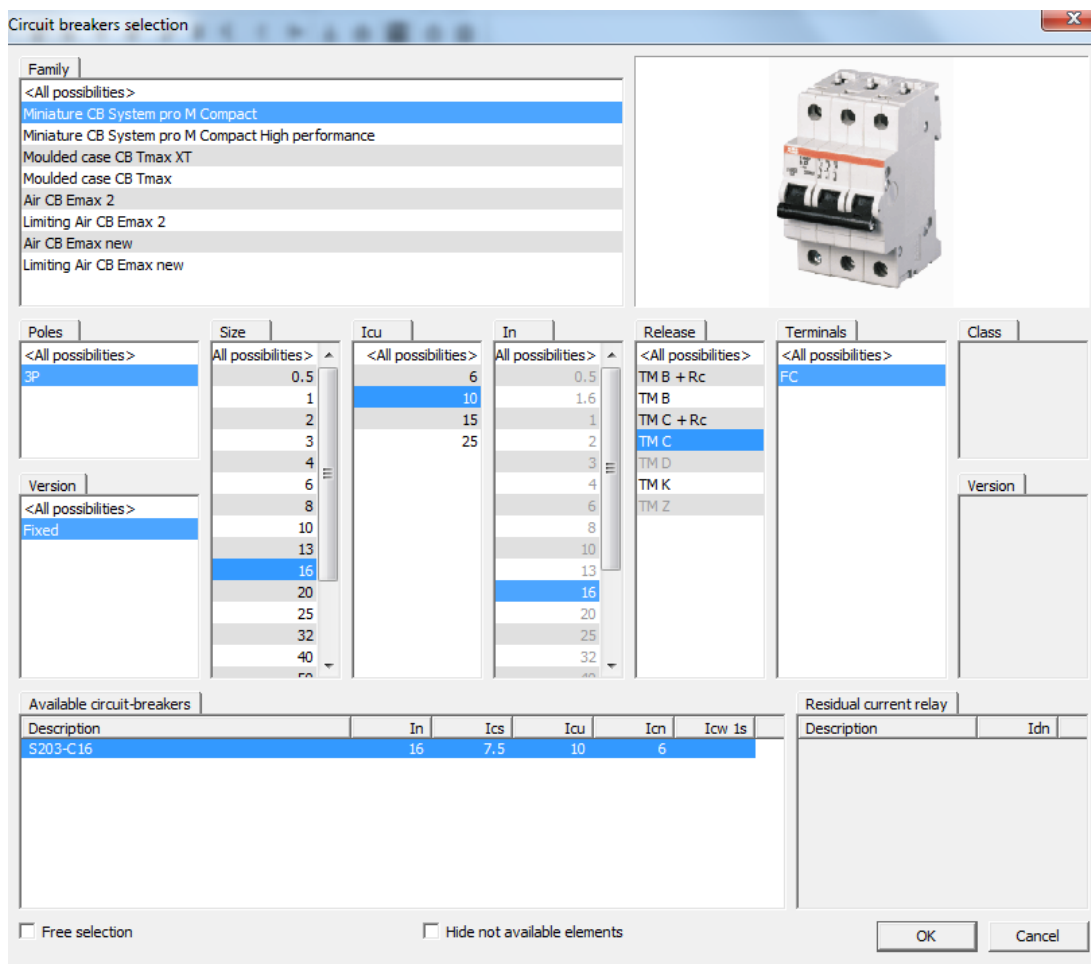


Select >>

Advanced options >>>

OK Cancel

Kuva 9. Suojalaitteen asetukset



Kuva 10. Suojalaitteen valinta

8.2.3 Kaapelin valinta

Kaapelin valinta tapahtuu valitsemalla ”Objects”-valikosta ”Cable”. Kaapeli sijoitetaan halutulle paikalle piirikaavioita, minkä jälkeen kaapelia tuplaklikkaamalla se päästään määrittämään, kuva 11. Kaapelin koko ohjelmassa määritellään katsomalla vastaava kaapeli johdotustaulukosta. Kaapelin pituus metreinä arvioidaan ”Length”-kenttään. Lisäksi kaapelille määritellään ominaisuudet sekä asennustapa. Lopuksi kaapeli lukitaan.

Feeder properties

Generic load (-L1.3) | LV cable (-WC1.3) | Circuit-breaker (-QF1.3)

User: -9F1-3

I_b : 0.7 [A] U_n : 400 [V] f_n : 50 [Hz]

$\cos\phi$: 0.90 U_0/U : TN-S

Ambient temperature: 30 [°C]

☐ Maximal dV% allowed

☐ Cable with double insulation

☐ Inside the board

Definition of cable ☐ Busduct

Length: 15 [m]

Multi-core

PVC

Cu

Installation method

In cable channel

In ventilated cable channel

43

Phase: 1 x 2.5 [mm²]

Neutral: 1 x 2.5 [mm²]

PE: 1 x 2.5 [mm²]

I_z : 26 [A]

k_t : 1.00

dV: 0.03 [%]

Further results

Reduction factors

Short circuit currents

Symbol: <default>

Advanced options >>>

OK Cancel

Kuva 11. Kaapelin asetukset

8.2.4 Kiskoston valinta

Sopiva virtakisko voidaan valita ohjelman ”Objects”-valikon ”Busbar”-kohdasta. Valinnan jälkeen virtakisko päästään piirtämään haluttuun kohtaan piirikaaviota. Ohjelma määrittää kiskoston koon (yksi/kolmevaiheinen) automaattisesti edeltävien komponenttien mukaan.

8.2.5 Kuorman määrittäminen

Virtapiirin kuorma voidaan määrittää valitsemalla ”Objects”-valikosta ”Generic Load”. Tämän jälkeen päästään piirtämään halutulle virtapiirille päätepiste. Tuplakkikaamalla päätepistettä aukeaa kuvan 12 kaltainen ikkuna. Ikkunassa voidaan määrittää suurin mahdollinen jännitteenalenema prosentteina ”Max. dV” ja käyttö-

kerroin. Kuorma valitaan arvioimalla virtapiirin laitteiden pätöteho kilowatteina ”Active power”. Lisäksi määritellään tehokerroin ”Rated power factor”. Lopuksi kuorma lukitaan ja valitaan ”OK”.

Feeder properties

Generic load (-L1.3) | LV cable (-WC1.3) | Circuit-breaker (-QF1.3)

User: -9F1-3

LLLN: 400 [V]
TN-S: 50 [Hz]

Utilization factor: UF 100 [%]

Rated current: I_n 0.7377 [A]
Rated power factor: $\cos \phi_n$ 0.9
Active power: P_n 0.46 [kW]

Computed voltage: 399.67 [V]
Max. dV: 4 [%]
Computed dV: 0.0804 [%]

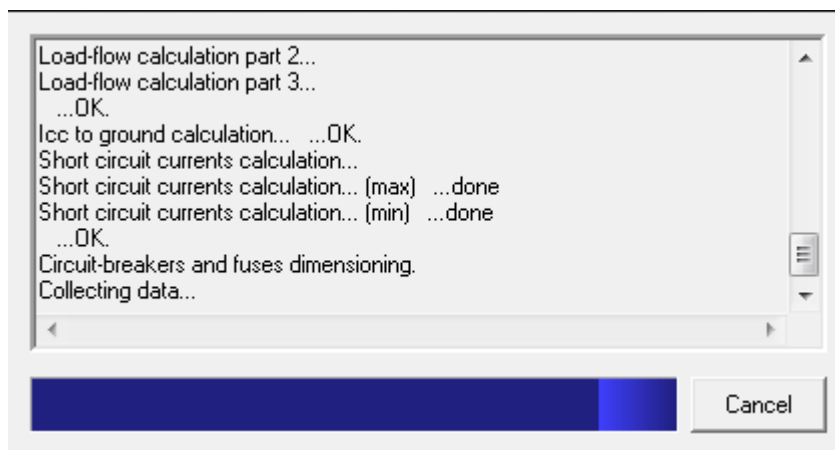
Symbol: <default>

OK Cancel

Kuva 12. Kuorman asetukset

8.2.6 Toimintatesti

Piirikaavion valmistuttua voidaan tehdä toimintatesti eli ohjelma testaa laskennallisesti ovatko komponentit sopivat. Testi saadaan käyntiin klikkaamalla ”Tools”-valikosta ”Calculate”. Näytölle ilmestyy kuvan 13 kaltainen ikkuna, jossa ohjelma selostaa laskentaprosessin etenemistä. Prosessi kestää muutamia sekunteja.



Kuva 13. Toimintatesti

Jos kaikki komponentit ovat sopivia, ohjelma näyttää koko piirikaavion vihreänä. Jos taas jotkin komponentit eivät ole sopivia, ne näkyvät keltaisena ja sopimattomuuden syy nähdään laskentaraportista.

8.2.7 Laskentatulosten tarkastelu

Ohjelman laskenta- ja mitoituskriteerit on esitetty liitteessä 1 sivulla 2 ja oikosulkulaskennan olettamukset saman liitteen sivulla 3. Laskentakriteereistä selviää, että laskettaessa pienintä oikosulkuvirtaa, ohjelma käyttää kaapelin mitoituksessa korjauskerrointa lämpötilan 160 °C mukaan, kun taas suurin taulukosta saatava korjauskerroin käsin laskiessa oli 90 °C mukaan. Automaattisessa poiskytkennässä ohjelma ei ota huomioon, että sähköasemalla kaikki keskukset ja kojeet on maadoitettu suoraan (tai MEB-kiskon kautta) maadoitusverkkoon, eikä pelkästään kaapelin PE-johtimen välityksellä. Tämä tarkoittaa sitä, että todellisuudessa vaarallisia kosketusjännitteitä ei ole.

Ohjelma tarkastelee oikosulkuvirtoja, jännitteenalenemia ja selektiivisyyttä. Pienin (Ik min) sekä suurin oikosulkuvirta (Ik max), symmetrisen oikosulkuvirran katkaisuvirta (Ib) ja jännitteenalenema (dv) löytyvät piirikaavion alareunassa olevasta taulukosta. Oikosulkuvirtoja voidaan tarkastella vielä tarkemmin tuplaklikkaamalla kaapeleita tai kiskostoa ja valitsemalla ”Short circuit currents” jolloin aukeaa kuvan 14 kaltainen ikkuna. Selektiivisyyttä voidaan verrata haluttujen suojalaitteiden kesken valitsemalla ”Tools” ja ”Curves”.

Short circuit currents

Max. [kA]

Min. [kA]

Short circuit currents in detail

Max values at line beginning

10 ms

| | | | | | |
|------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|
| LLL | <input type="text" value="1.98"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | [kA] |
| LL | <input type="text" value="1.72"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | [kA] |
| LN | <input type="text" value="1.98"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | [kA] |
| L-PE | <input type="text" value="1.98"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | [kA] |

Min values at line end

10 ms

| | | | | | |
|------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|
| LLL | <input type="text" value="1.67"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | [kA] |
| LL | <input type="text" value="1.45"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | [kA] |
| LN | <input type="text" value="1.63"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | [kA] |
| L-PE | <input type="text" value="1.59"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | [kA] |

OK

Kuva 14. Kaapelin oikosulkuvirrat

Laskelman toimintatestin perusteella selektiivisyys ei toteutunut omakäyttökeskuksen pääsuojan (-S01), rakennussähkökeskusta syöttävän lähdön (-7F1-3) sekä rakennussähkökeskuksen suurimman lähdön (F4) kesken, katso liitteen 2 sivu 1. Tämän vuoksi suojalaitteiden kokoja ja syöttäviä kaapeleita jouduttiin kasvattamaan. Pääsulakkeen 80/125 A kasvattamisessa pyrittiin ratkaisuun, jossa sulakepohjaa ei tarvitsisi vaihtaa. Myöskään rakennussähkökeskuksen 16 A:n johdonsuojakatkaisijalähdöstä ei haluttu luopua. Niinpä näiden ehtojen perusteella omakäyttökeskuksen rakennussähkökeskusta syöttävälle lähdölle (-7F1-3) pyrittiin löytämään parhaiten selektiivinen johdonsuojakatkaisija pääsulakkeen sekä rakennussähkökeskuksessa olevan lähdön kesken. Kyseiseksi suojaksi valittiin C50-tyypin johdonsuojakatkaisija ja omakäyttökeskuksen pääsulakkeiksi 125 A gG-tyypin sulakkeet.

Suojalaitteiden kasvattamisesta seurasi myös kaapelikokojen kasvattaminen. Omakäyttömuuntajalta omakäyttökeskusta syöttävä kaapeli muutettiin $4 \cdot 50 + 25 \text{ mm}^2$ ja omakäyttökeskukselta rakennussähkökeskusta syöttävä kaapeli $5 \cdot 10 \text{ mm}^2$.

8.3 Käsinlaskut

Doc-ohjelman luotettavuutta tarkasteltiin tekemällä muutamia käsinlaskuja, liite 3. Käsin laskien laskettiin suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta ja pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta omakäyttökeskuksen sekä rakennussähkökeskuksen kiskostoissa. Tulokset olivat erittäin lähellä doc-ohjelman tuloksia ja koska ohjelma käyttää samoja kaavoja, ei ollut tarpeen laskea koko järjestelmää. Pienet erot ovat selitettävissä sillä, että ohjelma käyttänee hieman erilaisia arvoja kaapelin ominaisimpedanssille.

8.4 Yhteenveto laskelmista

Hyvin monessa tapauksessa suojalaitteet ja kaapelit on valittu ”vanhasta muistista” ja niille tehtävät mitoituslaskelmat on tehty vasta projektin loppupuolella komponenttien ollessa jo asennettuna. Mitoituslaskelmat tulisi tehdä jatkossa aiemmin, sillä laskelmissa saattaa tulla yllättäviä tilanteita ilmi. Mitoituslaskelmien varhaisella tekemisellä on selvä taloudellinen hyöty projektin edetessä, sillä näin säästytään jo tilattujen ja asennettujen komponenttien vaihdolta työmaalla.

Mitoituksia tehdessä on jatkossa erittäin tärkeää tarkastella tilanteita, joissa suojalaitteina käytetään kahta johdonsuojakatkaisijaa peräkkäin. SFS 6000 -standardi ei vaadi suojalaitteiden täydellistä selektiivisyyttä, mutta mahdollisimman hyvään selektiivisyyteen on silti tärkeää pyrkiä. Esimerkiksi asiakkaalle on erittäin ikävä tilanne, jos huonon selektiivisyyden vuoksi johdonsuojakatkaisija laukeaa sekä rakennussähkökeskuksessa että omakäyttökeskuksessa tai jopa omakäyttökeskuksen pääsulake palaa. On huomioitava, että asiakkaalla saattaa olla rakennussähkökeskuksen tilassa henkilöitä, joilla ei ole pääsyä omakäyttökeskuksen tilaan.

Verrattaessa käsinlaskuja doc-ohjelman tuloksiin, voidaan todeta, että oikosulkuvirtojen osalta ohjelma on luotettava ja hyvin soveltuva. Ohjelman käytössä on huomi-

oitava, että ohjelma ei tarkastele selektiivisyyksiä riittävän kriittisesti. Esimerkkilaskelmassa lähdölle -7F1-3 voidaan valita esimerkiksi C32-tyyppin johdonsuojakatkaisija, jonka ohjelma hyväksyy. Tarkasteltaessa selektiivisyyttä (liite 2, sivu 2) voidaan todeta, ettei olla varmoja, toteutuuko selektiivisyys käytännössä. Sen sijaan tarkasteltaessa C50-tyyppin johdonsuojakatkaisijan sopivuutta (liite 2, sivu 3) voidaan todeta selektiivisyyden toteutuvan huomattavasti paremmin.

Jos selektiivisyydessä havaitaan puutteita, on tarkasteltava, millä muutoksilla päästään parhaaseen lopputulokseen, tai onko selektiivisyyden parantaminen kaikissa tapauksissa ylipäätään järkevää. Suojalaitteiden kasvaessa pääsulakkeiden koko riistäytyy helposti todella suureksi. Esimerkkitapauksessa selektiivisyys olisi toteutunut paremmin 160 A:n gG-tyyppin pääsulakkeilla, mutta oli järkevämpää mitoittaa pääsulake valmiina olevan 125 A:n sulakepohjan mukaan. Pitää myös miettiä, onko pääsulakkeen kasvattaminen järkevää esimerkiksi rakennussähkökeskuksessa olevan yhden 16 A:n lähdön vuoksi vai kannattaako ennemmin ajatella 16 A:n lähdön tarpeellisuutta. Kuormat on hyvä arvioida uudelleen ja sen perusteella miettiä, minkälaisia lähtöjä ylipäätään tarvitaan.

On myös huomioitava, että suurin mahdollinen oikosulkuvirta tapahtuu lähdön alkupäässä. On erittäin epätavallista, että oikosulku tapahtuu keskuksella esimerkiksi heti suojalaitteen jälkeen. Tällaiset tapaukset tarkoittavat käytännössä sitä, että keskuksella ollaan työskentelemässä ja oikosulku johtuu asentajan tekemästä virheestä. Tavallisimmin oikosulku tapahtuu virtapiirin loppupäässä ja mukana on myös oikosulkuresistanssin vaikutus, jolloin oikosulkuvirta ei ole suurin mahdollinen.

Koska doc-ohjelma ei tarkastele selektiivisyyksiä riittävän kriittisesti, kannattaa tulevaisuudessa miettiä, tulisiko suunnittelussa käyttää myös jotakin toista ohjelmaa (esimerkiksi FebDok) ja verrata tuloksia keskenään. Doc-ohjelman kirjastossa on vain ABB:n valmistamia laitteita, joten ohjelma ei sovellu täydellisesti käyttöön, jos asiakas vaatii toisen valmistajan komponentteja.

9 YHTEENVETO

Insinööritöiden tavoitteena oli tutkia sähköaseman omakäyttökeskuksen valintaan vaikuttavia tekijöitä sekä tehdä omakäyttöjärjestelmän mitoituslaskelmat ja niihin liittyvä tarkastelu. Opinnäytetyön teoriaosuus avaa lukijalle omakäyttöjärjestelmää ja siihen liittyvää suojaus- ja mitoitus teoriaa.

Työssä esiteltiin kolme ABB:n valitsemaa omakäyttökeskusratkaisua sekä löydettiin pääasiat, joihin tulee kiinnittää huomiota keskusta valittaessa. Kyseisten asioiden avaamisesta on hyötyä etenkin uusille ja nuorille suunnittelijoille.

Mitoituslaskelmien osalta saatiin selville, ettei selektiivisyys toteutunut kaikkien suojalaitteiden kesken. Tilalle löydettiin toimiva ratkaisu, ja muutokset ehdittiin teemmään meneillään olevaan projektikohteeseen. Samalla muutokset merkittiin työssä esiteltävän pienen keskuksen pääkaavioon tulevia projekteja ajatellen. Voidaankin todeta, että mitoituslaskelmien ansiosta säästettiin väärin suojalaitteiden ja kaapeleiden hankinnalta sekä löydettiin toimiva ratkaisu. Lisäksi opinnäytetyössä annetaan apua laskentaohjelman käyttöön sekä sen tulosten tarkasteluun. Tästä on apua suunnittelijoille, jotka tekevät samoja laskelmia.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyössä päästiin tavoitteisiin niin sisällöllisesti, kuin aikataulullisesti. Opinnäytetyöstä oli hyötyä niin kirjoittajalle, kuin työn tilaajallekin. Opinnäytetyö oli haastava, mielenkiintoinen ja erittäin opettavainen projekti. Toki opiskeluissa opituista asioista sekä työkokemuksesta oli hyötyä, mutta opinnäytetyöhön liittyvien tutkimusten ansiosta kirjoittaja oppi valtavasti uutta.

Suurimmat haasteet olivat vähäinen lähteiden määrä omakäyttöjärjestelmistä, sekä uuden laskentaohjelman opettelu ja hallinta. Suurin ammatillinen kasvu tapahtuikin juuri lähdekriittisyydessä, laskentaohjelman hallinnassa sekä laskentatulosten tarkastelussa. Lisäksi aikataulunhallintaan liittyvät taidot saivat kehitystä työskennellessä monien eri ihmisten kanssa.

Haluan kiittää ABB:n suunnittelupäällikkö Jan Malmstenia tarjoamastaan opinnäytetyöaiheesta sekä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyötä yrityksen toimistolla. Haluan kiittää myös opinnäytetyöni ohjaajia Esko Niemistä (SAMK) ja Rauno Hirvosta (ABB), joilta olen saanut apua ja ohjausta projektin aikana. Kiitokset myös suunnittelija Juha Brändströmille, jolta olen saanut apua liittyen mitoitustietoihin sekä kiitokset kaikille opinnäytetyötäni avustaneille ja tukeneille ABB:n henkilöille. Lisäksi haluan erityisesti kiittää kollegaani Jouni Tähtistä, jolta olen saanut apua ja vertaistukea opinnäytetyöprojektin aikana. Kiitokset myös kotijoukoille saamastani tuesta.

LÄHTEET

ABB:n www-sivut. Viitattu 15.3.2015. <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>

ABB Oy. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Yhdeksäs painos. Vaasa.

Ensto. Esimerkki oikosulkuvirtojen laskennasta. Viitattu 18.5.2015.
http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZP7TkJV/Esimerkki_oikosulkuvirta.pdf

IEC 60529. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). Edition 2.1. 2/2001. Viitattu 25.5.2015. <http://www.iec.ch/>

Koskinen Joni-Matti. 2013. Pankakosken 0,4 kV vaihtosähköverkon ja 110 V tasasähköverkon mallintaminen, laskeminen ja dokumentointi. AMK-opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Kemi.

Monni, M. 1995. Sähkölaitosasennukset. Helsinki. Oy Edita Ab.

Mäkihannu Tuomo. 2011. Porraselementtitehtaan pääkeskuksen suunnittelu. AMK-opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Kemi.

Pertti Granqvist. 2015. Sähkötarkastus Granqvist Oy. Puhelinhaastattelu 29.4.2015.

SFS6000. 2012. SFS6000 Pienjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 1 painos, SFS Helsinki.

Siivonen, Kalle 2007. Sähköaseman apusähköjärjestelmät. AMK-opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

ST-käsikirja 20. 2015. Varmennetut sähköjärjestelmät. Espoo. Sähkötieto ry.

Tiainen Esa, 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. 3 uudistettu painos. Espoo. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

Virsu Pirkka-Heikki. 2005. Pirttikosken voimalaitoksen omakäyttökeskuksen oikosulkuvirtojen laskenta. AMK-opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Kemi.

| | | | |
|---|--|---|--|
| Customer: | | | |
| Project: | | SARENKYLÄ | |
| Notes: | | | |
| Designed by: | | TUOMAS KEKKI, ABB | |
| <div><div>Rev. r1</div><div>Rev. r2</div><div>Rev. r3</div></div> <div>REVISIONS</div> <div>Date</div> <div>Signature</div> <div>Date</div> <div>Design</div> <div>Approval</div> | | <div>Checked by:</div> <div>Signature</div> <div>Project #</div> <div>DOC</div> | |

Calculation and dimensioning criteria

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Calculation method-standard | CEI 11-25 |
| Standard for cable dimensioning | CEI 64-8 |

| | |
|----------|---|
| Overload | Overload verifications are made according the following relations: $I_b \leq I_n \leq I_z$ and $I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$ |
| | Legenda: |
| | I_b = the current for which the circuit is designed |
| | I_n = nominal current of the protective device (For adjustable protective devices, the nominal current I_n is the current setting selected) |
| | I_z = current ensuring effective operation in the conventional time of the protective device |
| | I_2 = cable carrying capacity according the chosen standard |

| | |
|----------------------|---|
| Short Circuit | Circuit breakers and fuses are dimensioned with a breaking capacity higher than the maximum short circuit current in the point of installation |
| | Circuit breakers dimensioned according to IEC 60497-2 are also chosen with the making capacity I _{cm} higher than the maximum peak current |
| | The protection against short circuit must satisfy the rule $I_{2t} \leq K^2 S^2$ |
| | Legenda: |
| | I_{2t} = let-through energy at the maximum short circuit current (defined by the producer) |
| | S = size of the conductors |
| | K = factor defined in IEC60364-4-43 table 43A and IEC60364-5-54 tables A.54.2, A.54.4 and A.54.5 |

| | |
|----------------|--|
| Indirect touch | TT systems: the verification is $I_{dn} \cdot R_l \leq V_o$, or $I_m \leq I_k \min$ |
| | TN systems: the verification is $I_m \leq I_k \min$ |
| | Legenda: |
| | I_{dn} = sensitivity of the residual current device |
| | R_l = earthing resistance |
| | V_o = max admitted contact voltage |
| | I_m = tripping value of the protective device at time limit |
| | $I_k \min$ = minimum short circuit current at time end |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Discrimination and Back-up | The discrimination and back-up values are determined by the producer with laboratory tests |
|-----------------------------------|--|

| | | | | | | |
|-----------|-------|------------|-------------|--|-----------------|---|
| Rev. #1 | | Date: | 21.5.2015 | Description SAACINCTIA 0.4W CHIAK/TTOLAREFETUM MITOTUSJUSELMA | Drawing number: | |
| Rev. #2 | | Order: | | | Customer: | |
| Rev. #3 | | Design: | TUMMAS KEMO | | Project: | |
| REVISIONS | Date: | Signature: | | | Sheet: | |
| | | Approved: | | | 1 | 1 |

Short-circuit calculation hypothesis for IEC 60909-0

Calculation algorithm

The calculation of maximum and minimum, balanced and unbalanced, short-circuit currents is made by application of symmetrical components.

General conditions

The calculation of maximum and minimum short-circuit currents is based on the following simplifications.

- a) For the duration of the short circuit there is no change in the type of short circuit involved (a three-phase short circuit remains three-phase)
- b) For the duration of the short circuit, there is no change in the network involved.
- c) The impedance of the transformers is referred to the tap-changer in main position.
- d) Arc resistances are not taken into account.
- e) All line capacitances and shunt admittances and non-rotating loads, except those of the zero-sequence system, are neglected.

Maximum short-circuit currents

In the calculation of maximum short-circuit currents, the following conditions have been considered:

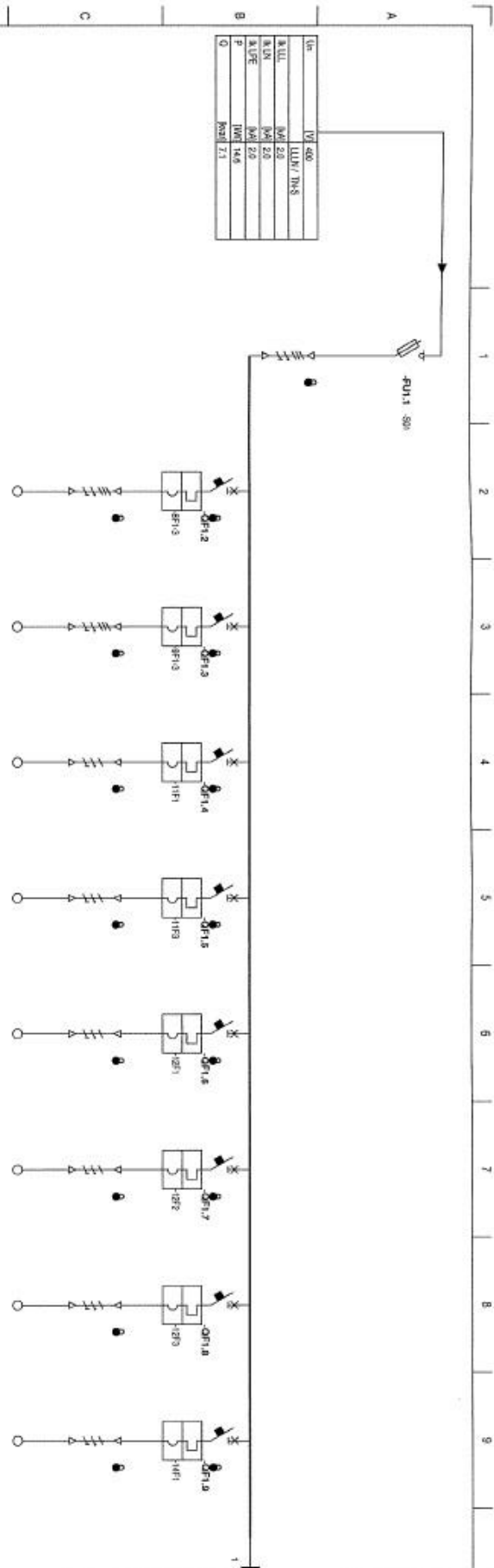
- it is applied the voltage factor c_{max} according to table 1, IEC 60909-0
- it is chosen the network configuration which leads to the maximum value of short-circuit current at the short-circuit location
- the contribution of asynchronous motors is considered if their contribution is higher than 5% of the initial short-circuit current calculated without motors
- resistance R_L of lines (overhead lines and cables) are introduced at a temperature of 20°C

Minimum short-circuit currents

In the calculation of minimum short-circuit currents, the following conditions have been considered:

- it is applied the voltage factor c_{min} according to table 1, IEC 60909-0
- it is chosen the network configuration which lead to the minimum value of short-circuit current at the short-circuit location
- the contribution of asynchronous motors is neglected
- resistance R_L of lines (overhead lines and cables) are introduced at a temperature of 160°C

| | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|------------|-----------|-------------|--|-----------|--|--|--|-----------------|---|
| Rev. n°1 | | Date: | 21.5.2015 | Discussion: | SAAREKORJA 0,4kV OMAKANTOAJEISTEIJÄÄ MOTORISIOICILIA | Customer: | | | | Issuing number: | |
| Rev. n°2 | | Date: | | | | Project: | | | | Sheet: | |
| Rev. n°3 | | Date: | | | | File: | | | | Rev. n°4: | |
| PERSONS | Date: | Signature: | Approved: | | | Stamp: | | | | Stamp: | 1 |

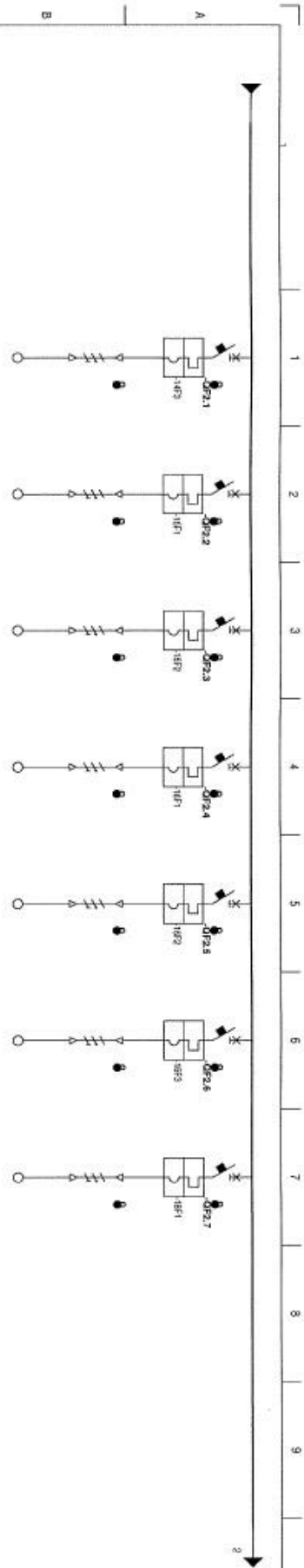


| | | |
|-----|------|----------|
| lin | 400 | LLH/TH-S |
| ALL | 20 | |
| LN | 20 | |
| USE | 20 | |
| P | 14.6 | |
| Q | 7.1 | |

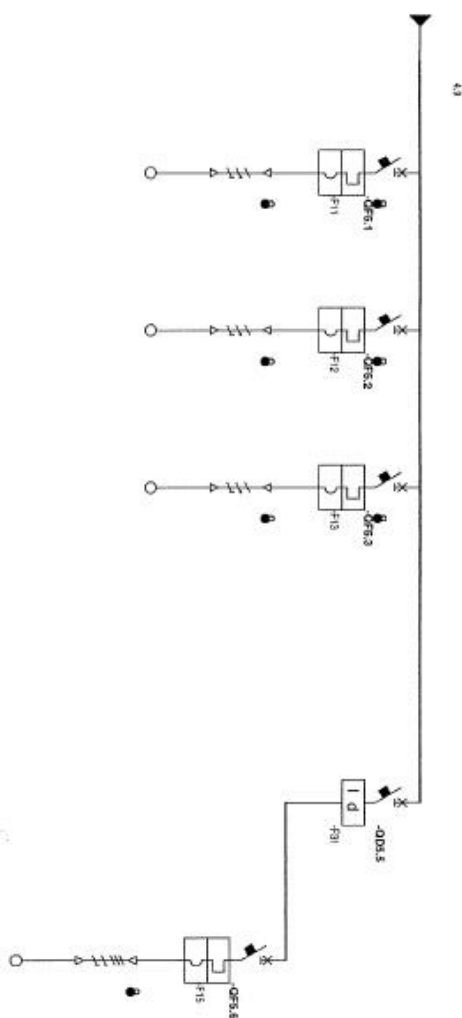
[illegible][illegible]

⁽¹⁾ The circuit-breaker is in discrimination relations with other circuit-breakers.

[illegible]

[illegible]

*) The circuit-breaker is in discrimination relations with other circuit-breakers



| Distribution line | | Command / protection | | Load | |
|-------------------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| DB1 | DB2 | DB3 | DB4 | DB5 | DB6 |
| DB7 | DB8 | DB9 | DB10 | DB11 | DB12 |
| DB13 | DB14 | DB15 | DB16 | DB17 | DB18 |
| DB19 | DB20 | DB21 | DB22 | DB23 | DB24 |
| DB25 | DB26 | DB27 | DB28 | DB29 | DB30 |
| DB31 | DB32 | DB33 | DB34 | DB35 | DB36 |
| DB37 | DB38 | DB39 | DB40 | DB41 | DB42 |
| DB43 | DB44 | DB45 | DB46 | DB47 | DB48 |
| DB49 | DB50 | DB51 | DB52 | DB53 | DB54 |
| DB55 | DB56 | DB57 | DB58 | DB59 | DB60 |
| DB61 | DB62 | DB63 | DB64 | DB65 | DB66 |
| DB67 | DB68 | DB69 | DB70 | DB71 | DB72 |
| DB73 | DB74 | DB75 | DB76 | DB77 | DB78 |
| DB79 | DB80 | DB81 | DB82 | DB83 | DB84 |
| DB85 | DB86 | DB87 | DB88 | DB89 | DB90 |
| DB91 | DB92 | DB93 | DB94 | DB95 | DB96 |
| DB97 | DB98 | DB99 | DB100 | DB101 | DB102 |
| DB103 | DB104 | DB105 | DB106 | DB107 | DB108 |
| DB109 | DB110 | DB111 | DB112 | DB113 | DB114 |
| DB115 | DB116 | DB117 | DB118 | DB119 | DB120 |
| DB121 | DB122 | DB123 | DB124 | DB125 | DB126 |
| DB127 | DB128 | DB129 | DB130 | DB131 | DB132 |
| DB133 | DB134 | DB135 | DB136 | DB137 | DB138 |
| DB139 | DB140 | DB141 | DB142 | DB143 | DB144 |
| DB145 | DB146 | DB147 | DB148 | DB149 | DB150 |
| DB151 | DB152 | DB153 | DB154 | DB155 | DB156 |
| DB157 | DB158 | DB159 | DB160 | DB161 | DB162 |
| DB163 | DB164 | DB165 | DB166 | DB167 | DB168 |
| DB169 | DB170 | DB171 | DB172 | DB173 | DB174 |
| DB175 | DB176 | DB177 | DB178 | DB179 | DB180 |
| DB181 | DB182 | DB183 | DB184 | DB185 | DB186 |
| DB187 | DB188 | DB189 | DB190 | DB191 | DB192 |
| DB193 | DB194 | DB195 | DB196 | DB197 | DB198 |
| DB199 | DB200 | DB201 | DB202 | DB203 | DB204 |
| DB205 | DB206 | DB207 | DB208 | DB209 | DB210 |
| DB211 | DB212 | DB213 | DB214 | DB215 | DB216 |
| DB217 | DB218 | DB219 | DB220 | DB221 | DB222 |
| DB223 | DB224 | DB225 | DB226 | DB227 | DB228 |
| DB229 | DB230 | DB231 | DB232 | DB233 | DB234 |
| DB235 | DB236 | DB237 | DB238 | DB239 | DB240 |
| DB241 | DB242 | DB243 | DB244 | DB245 | DB246 |
| DB247 | DB248 | DB249 | DB250 | DB251 | DB252 |
| DB253 | DB254 | DB255 | DB256 | DB257 | DB258 |
| DB259 | DB260 | DB261 | DB262 | DB263 | DB264 |
| DB265 | DB266 | DB267 | DB268 | DB269 | DB270 |
| DB271 | DB272 | DB273 | DB274 | DB275 | DB276 |
| DB277 | DB278 | DB279 | DB280 | DB281 | DB282 |
| DB283 | DB284 | DB285 | DB286 | DB287 | DB288 |
| DB289 | DB290 | DB291 | DB292 | DB293 | DB294 |
| DB295 | DB296 | DB297 | DB298 | DB299 | DB300 |
| DB301 | DB302 | DB303 | DB304 | DB305 | DB306 |
| DB307 | DB308 | DB309 | DB310 | DB311 | DB312 |
| DB313 | DB314 | DB315 | DB316 | DB317 | DB318 |
| DB319 | DB320 | DB321 | DB322 | DB323 | DB324 |
| DB325 | DB326 | DB327 | DB328 | DB329 | DB330 |
| DB331 | DB332 | DB333 | DB334 | DB335 | DB336 |
| DB337 | DB338 | DB339 | DB340 | DB341 | DB342 |
| DB343 | DB344 | DB345 | DB346 | DB347 | DB348 |
| DB349 | DB350 | DB351 | DB352 | DB353 | DB354 |
| DB355 | DB356 | DB357 | DB358 | DB359 | DB360 |
| DB361 | DB362 | DB363 | DB364 | DB365 | DB366 |
| DB367 | DB368 | DB369 | DB370 | DB371 | DB372 |

| F11 | | F12 | | F13 | | F21 | | F15 | |
|---------|------|---------|------|---------|------|-------------|-------|----------|------|
| 231 | 0.25 | 231 | 0.25 | 231 | 0.37 | | | 409 | 0.24 |
| 0.50 | 100 | 0.50 | 100 | 0.80 | 100 | | | 0.70 | 100 |
| 1.0 | 0.50 | 1.0 | 0.50 | 3.0 | 0.90 | | | 1.1 | 0.40 |
| ABE | | ABE | | ABE | | ABE | | ABE | |
| 3597-C6 | | 3597-C6 | | 3597-C6 | | 7204-A-0053 | | 3204-C16 | |
| 15 | 5 | 15 | 5 | 15 | 15 | 40 | 40 | 45 | 15 |
| 5.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 5.300 | 5.300 | 16.5 | 16.5 |
| 65.0 | 90.0 | 65.0 | 100 | 54.0 | 100 | | | 125.0 | 6.5 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Cu-PMC | | Cu-PMC | | Cu-PMC | | | | Cu-PMC | |
| 351.5 | | 351.5 | | 352.5 | | | | 502.5 | |
| 4 | 20.0 | 4 | 20.0 | 7 | 27.0 | | | 8 | 24.0 |
| 1.0 | 11 | 1.0 | 11 | 3.5 | 11 | 3.1 | 3.1 | 1.1 | 11 |
| 0.04 | 0.04 | | | 0.04 | 0.04 | 3.1 | 3.1 | 1.1 | 0.02 |
| 0.71 | 0.71 | | | 0.65 | 0.65 | 3.1 | 3.1 | 1.1 | 0.65 |
| 1.0 | 1.55 | 1.0 | 1.55 | 3.5 | 1.55 | 8.0 | 8.0 | 0.0 | 1.81 |

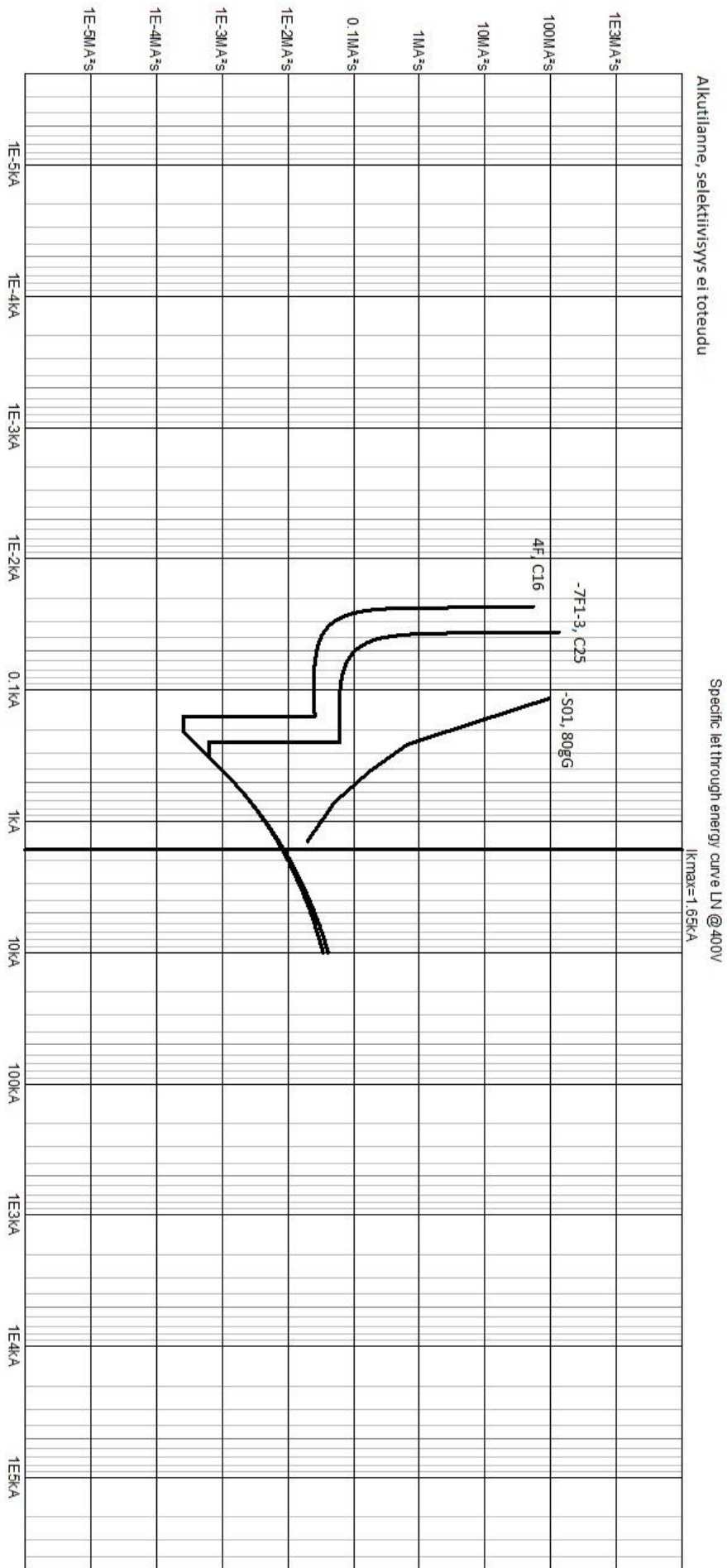
☐ The circuit breaker is in discrimination relations with other circuit-breakers

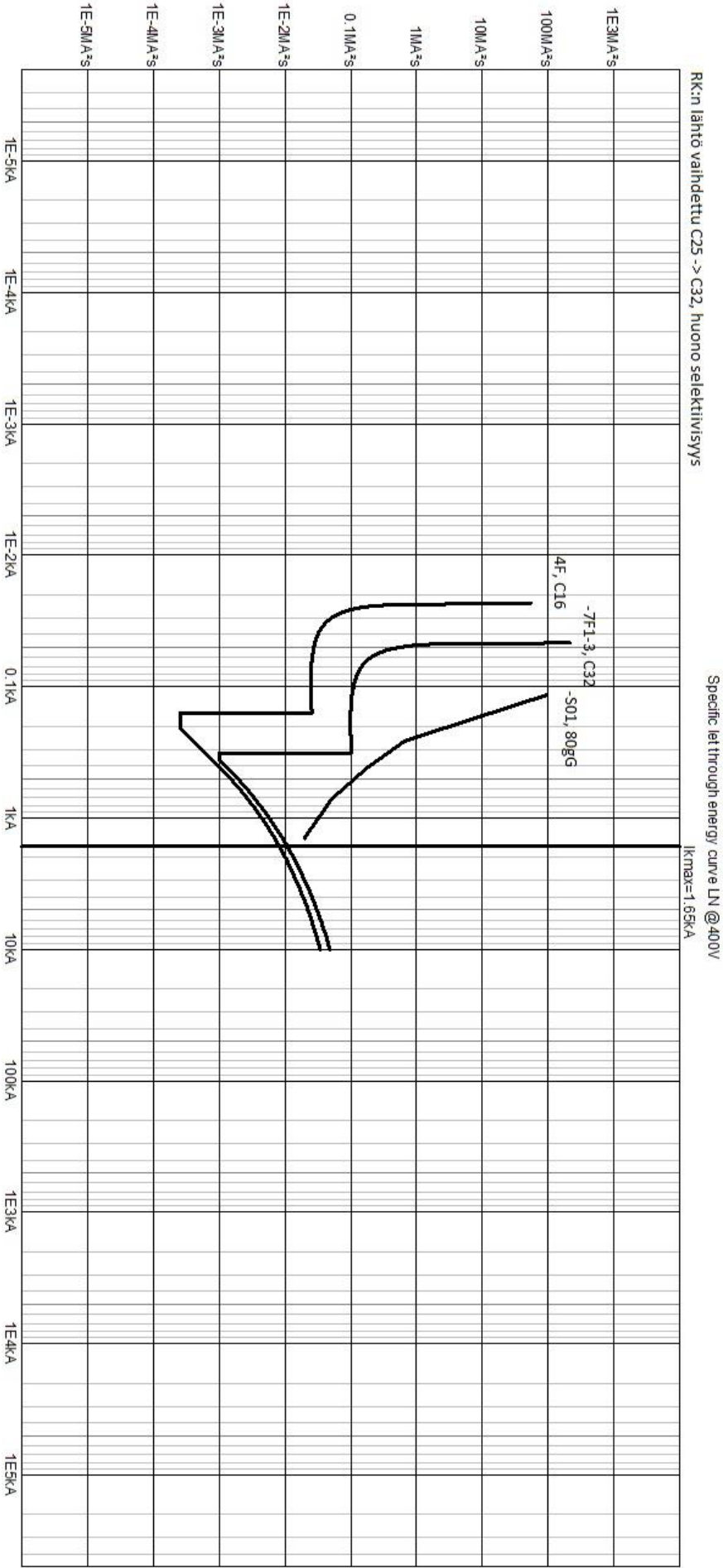
| | | | | | | |
|-----------|--|-----------|---------------|---|-----------|----------------|
| Rev. n°1 | | Date: | 21.02.2015 | Description SARAKKILA 0.04V OUNAKANTOIMAREHELM MATILUS ASKEIVA | Customer: | Drawing number |
| Rev. n°2 | | Dated: | | | Project: | |
| Rev. n°3 | | Design: | TUOMAS HEIKKI | | File: | |
| REVISIONS | | Appoint: | | | Sheet | |
| Date: | | Signature | | | 5 | |

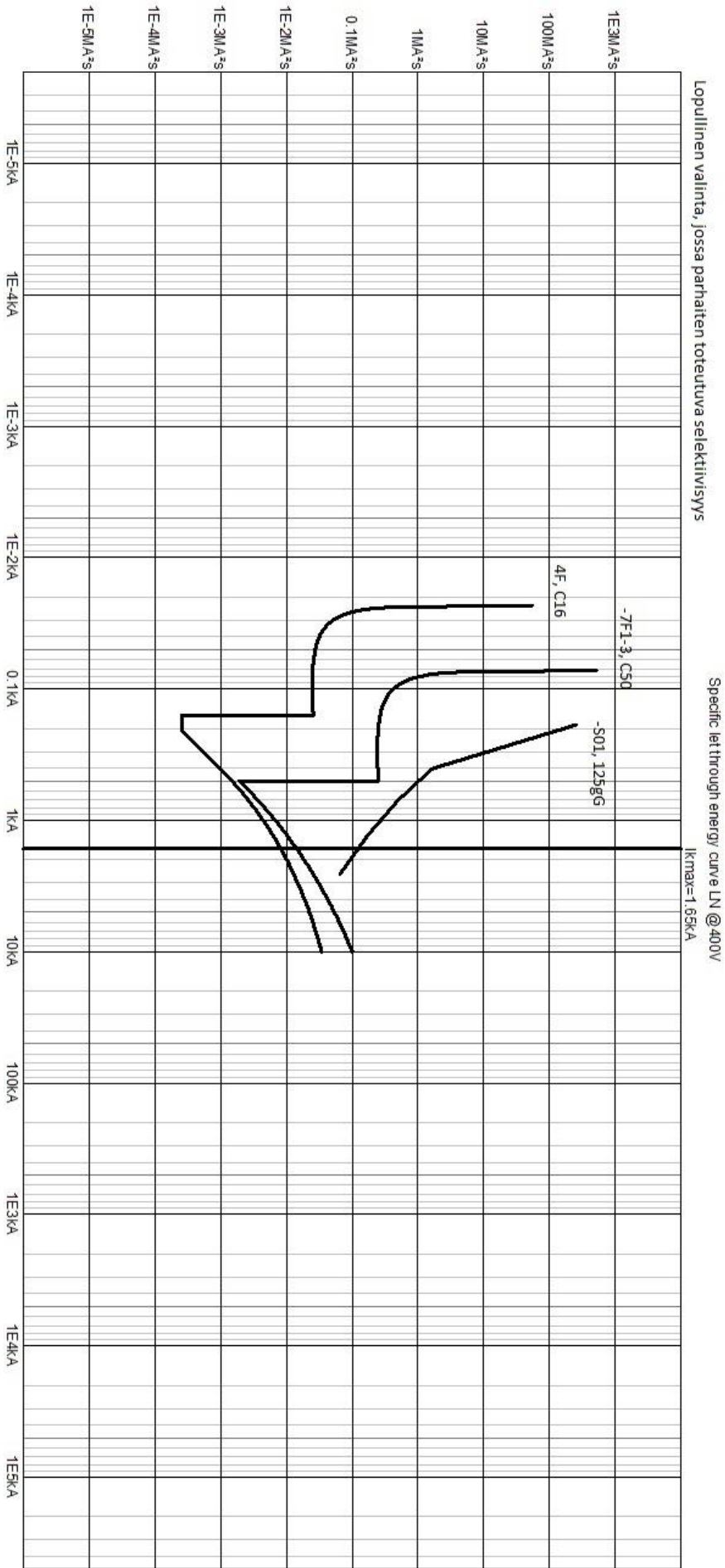
Short circuit calculation

[illegible]

| | | | | | | | | |
|-----------|--|-----------|-------------|---|-----------------|---|-------|---|
| Rev. #1 | | Date | 21.3.2015 | Description SALICORNIA OLAVI CANAL/CANALISTEMA MITCHELLI ASEA/IA | Drawing number: | | | |
| Rev. #2 | | Date | | | Project | | | |
| Rev. #3 | | Design | TUDUNG NENU | | File | | | |
| REVISIONS | | Approved | | | Sheet | | | |
| Date | | Signature | | | | 1 | Sheet | 1 |
| | | | | | | | | |







Muuntajan lähtöarvot:

$$U_K = 4 \%$$

$$S_N = 50 \text{ kVA}$$

$$U_N = 400 \text{ V}$$

$$P_K = 885 \text{ W}$$

Muuntajan laskut:

$$Z_M = \frac{U_N^2}{S_N} * \frac{U_K}{100} = 0,1280 \Omega$$

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} * U_N} = 72,2 \text{ A}$$

$$R_M = \frac{P_K}{3 * I_N^2} = 0,0569 \Omega$$

$$X_M = \sqrt{Z_M^2 - R_M^2} = 0,1147 \Omega$$

Omakäyttömuuntaja-omakäyttökeskus -välinen kaapeli MCMK 4*50+25 mm²

ML, MK, MK-HF, MPLM, MMJ, HHJ, MMJ-HF, FRHF, MKMJ, EKLK, EQLQ
MMO, MMO-HF, FRHF, MKMO, MCMO
MCMK, XCMK-HF, EMCCK, MCMK-O, FRHF-EMC
HXCCK, HXCHBMK

| mm ² | 20 °C Ω/km | 40 °C Ω/km | 60 °C Ω/km | 70 °C Ω/km | 90 °C Ω/km |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0,5 | 36,0 | 38,8 | 41,7 | 43,1 | 45,9 |
| 0,75 | 24,5 | 26,4 | 28,4 | 29,3 | 31,2 |
| 1 | 18,1 | 19,5 | 20,9 | 21,7 | 23,1 |
| 1,5 | 12,1 | 13,1 | 14,0 | 14,5 | 15,4 |
| 2,5 | 7,41 | 7,99 | 8,57 | 8,87 | 9,45 |
| 4 | 4,61 | 4,97 | 5,33 | 5,52 | 5,88 |
| 6 | 3,08 | 3,32 | 3,56 | 3,69 | 3,93 |
| 10 | 1,83 | 1,97 | 2,12 | 2,19 | 2,33 |
| 16 | 1,15 | 1,24 | 1,33 | 1,38 | 1,47 |
| 25 | 0,727 | 0,784 | 0,841 | 0,870 | 0,927 |
| 35 | 0,524 | 0,565 | 0,606 | 0,627 | 0,668 |
| 50 | 0,387 | 0,417 | 0,448 | 0,463 | 0,493 |
| 70 | 0,268 | 0,289 | 0,310 | 0,321 | 0,342 |
| 95 | 0,193 | 0,208 | 0,223 | 0,231 | 0,246 |
| 120 | 0,153 | 0,165 | 0,177 | 0,183 | 0,195 |
| 150 | 0,124 | 0,134 | 0,143 | 0,148 | 0,158 |
| 185 | 0,0991 | 0,1069 | 0,1147 | 0,1186 | 0,1264 |
| 240 | 0,0754 | 0,0813 | 0,0873 | 0,0902 | 0,0961 |

Taulukko kaapeleiden ominaisimpedansseista (Ensto 2008)

20°C max-tilannetta varten

$$R_{V1A} = 8\text{m} * 0,387\Omega/\text{km} = 3,096\text{m}\Omega = 0,003096\Omega$$

$$X_{V1A} = 8\text{m} * 0,08\Omega/\text{km} = 0,64\text{m}\Omega = 0,00064\Omega$$

90°C min-tilannetta varten

$$R_{V1B} = 8\text{m} * 0,493\Omega/\text{km} = 3,944\text{m}\Omega = 0,003944\Omega$$

$$X_{V1B} = 8\text{m} * 0,08\Omega/\text{km} = 0,64\text{m}\Omega = 0,00064\Omega$$

90°C PEN-johto min-tilannetta varten

$$R_{PEN1} = 8\text{m} * 0,927\Omega/\text{km} = 7,416\text{m}\Omega = 0,007416\Omega$$

$$X_{PEN1} = 8\text{m} * 0,08\Omega/\text{km} = 0,64\text{m}\Omega = 0,00064\Omega$$

Oikosulkuvirrat omakäyttökeskuksen kiskostossa:

$$\begin{aligned} I_{K3\ MAX} &= \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_M + R_{V1A})^2 + (X_M + X_{V1A})^2}} \\ &= \frac{1,1 * 400V}{\sqrt{3} * \sqrt{(0,0569\Omega + 0,003096\Omega)^2 + (0,1147\Omega + 0,00064\Omega)^2}} \\ &= 1953,94\text{A} = 1,95\text{kA} \quad \text{vertaa doc-ohjelmaan: 1,95kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{K1\ MIN} &= \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_M + R_{V1B} + R_{PEN1})^2 + (X_M + X_{V1B} + X_{PEN1})^2}} \\ &= \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * \sqrt{(0,0569\Omega + 0,003944\Omega + 0,007416\Omega)^2 + (0,1147\Omega + 0,00064\Omega + 0,00064\Omega)^2}} \\ &= 1630,25\text{A} = 1,63\text{kA} \quad \text{vertaa doc-ohjelmaan: 1,63kA} \end{aligned}$$

Omakäyttökeskuksen ja rakennussähkökeskuksen välinen kaapeli MCMK 5*10 mm²

20°C max-tilannetta varten

$$R_{V2A} = 8m * 1,83\Omega/km = 14,64m\Omega = 0,01464\Omega$$

$$X_{V2A} = 8m * 0,08\Omega/km = 0,64m\Omega = 0,00064\Omega$$

90°C min-tilannetta varten

$$R_{V2B} = 8m * 2,33\Omega/km = 18,64m\Omega = 0,01864\Omega$$

$$X_{V2B} = 8m * 0,08\Omega/km = 0,64m\Omega = 0,00064\Omega$$

90°C PEN-johto min-tilannetta varten

$$R_{PEN2} = 8m * 2,33\Omega/km = 18,64m\Omega = 0,01864\Omega$$

$$X_{PEN2} = 8m * 0,08\Omega/km = 0,64m\Omega = 0,00064\Omega$$

Oikosulkuvirrat rakennussähkökeskuksen kiskostossa:

$$I_{K3 MAX} = \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_M + R_{V1A} + R_{V2A})^2 + (X_M + X_{V1A} + X_{V2A})^2}}$$

$$= \frac{1,1 * 400V}{\sqrt{3} * \sqrt{(0,0569\Omega + 0,003096\Omega + 0,01464\Omega)^2 + (0,1147\Omega + 0,00064\Omega + 0,00064\Omega)^2}}$$

$$= 1841,99A = 1,84kA \quad \text{vertaa doc-ohjelmaan: 1,81kA}$$

$$I_{K1 MIN} = \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_M + R_{V1B} + R_{V2B} + R_{PEN1} + R_{PEN2})^2 + (X_M + X_{V1B} + X_{V2B} + X_{PEN1} + X_{PEN2})^2}}$$

$$= \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * \sqrt{(0,0569\Omega + 0,003944\Omega + 0,01864\Omega + 0,007416\Omega + 0,01864\Omega)^2 + (0,1147\Omega + 0,00064\Omega + 0,00064\Omega + 0,00064\Omega + 0,00064\Omega)^2}}$$

$$= 1390,67A = 1,39kA \quad \text{vertaa doc-ohjelmaan: 1,30kA}$$

Huom! Doc -ohjelman pienin oikosulkuvirta on kaksivaiheinen. Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta tulee tarkistaa tuplaklikkaamalla kaapelia ja valitsemalla ”oikosulkuvirrat”